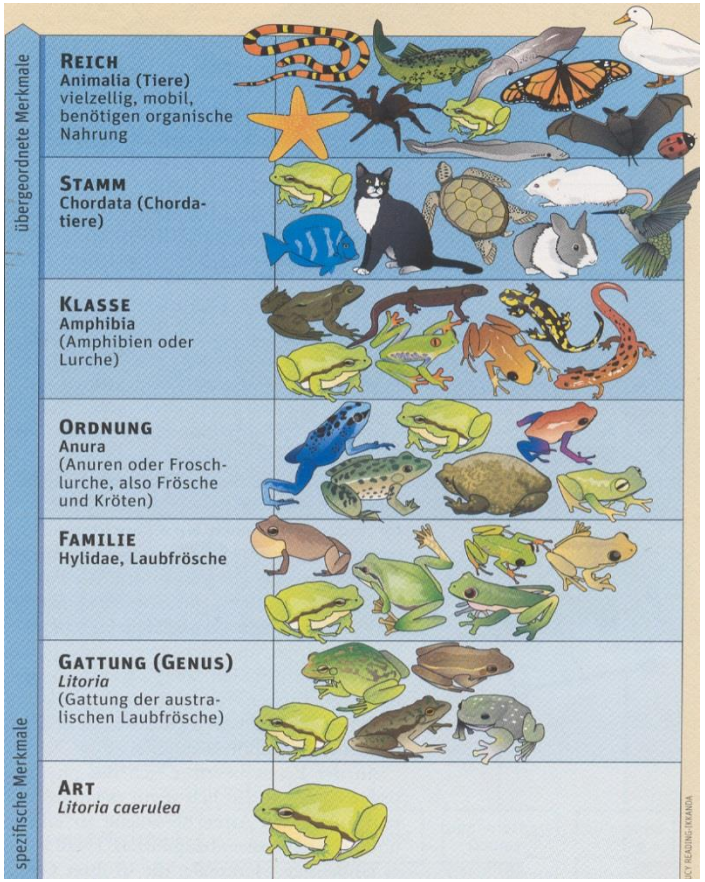
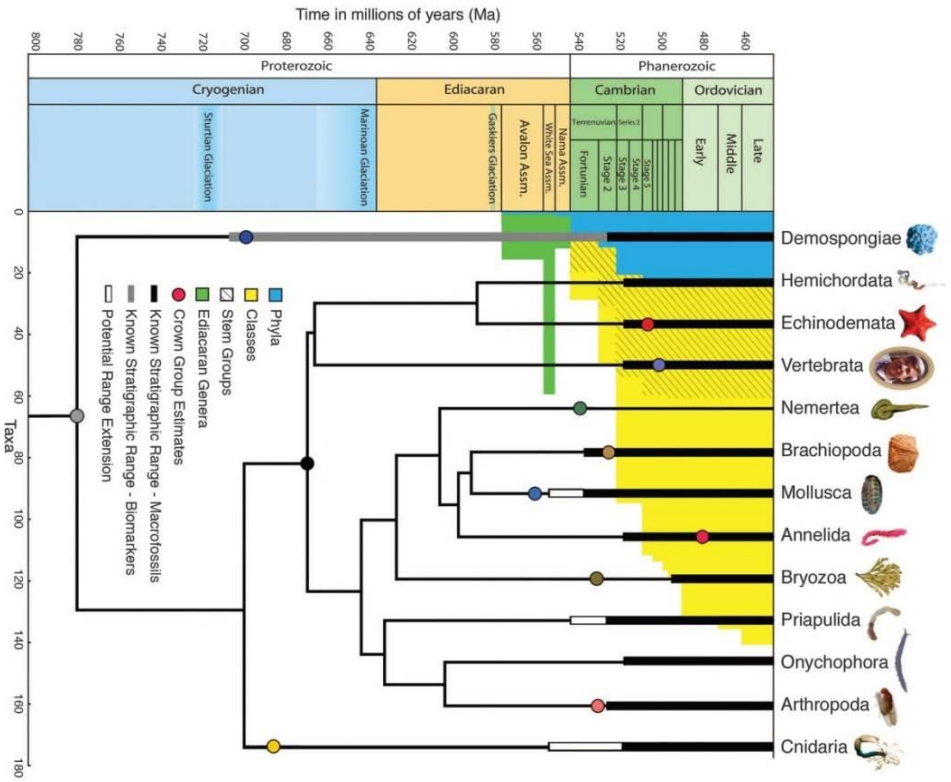
Systematische Zoologie
– oder Zoologische Systematik



- **eine Einführung ins Reich der Tiere**



Matthias Glaubrecht

CeNak
Centrum für Naturkunde

Systematische Zoologie

- **Die Vorlesung – *Was werden Sie hören ?***

Biodiversität der Tiere 9:45-11:15 Großer Hörsaal
61-011 Systematische Zoologie

Termin	KW	Datum	Thema	
1	14	2. Apr.	Einführung Zool. Systematik, Protista	
2	15	9. Apr.	Einführung, Metazoa	
3	16	16. Apr.	Metazoa, Bilateria	Protostomia
4	17	23. Apr.	Platyzoa - Mollusca	
5	18	30. Apr.	Annelida - Nematoda	
6	19	7. Mai.	Ecdysozoa: Chelicerata	
7	20	14. Mai.	Crustacea	
		Christi Himmelfahrt 21. Mai		
8	22	28. Mai.	Myriapoda - Insecta	
		Pfingstunterbrechung 4. Juni		
9	24	11. Jun.	Deuterostomia, Echinodermata	Deuterostomia
10	25	18. Jun.	Acrania, Pisces - Amphibia	
11	26	26. Jul.	Reptilia - Aves	
12	27	02. Jul 20	Mammalia	
	30	24. Jul 20	Haupttermin (Freitag)	
	40	02. Okt 20	Wiederholungstermin (Freitag)	

Aves

- **Autapomorphien im Skelettsystem der Vögel**

- **Schädel**

Dermatocranium

Neurocranium

Viscerocranium

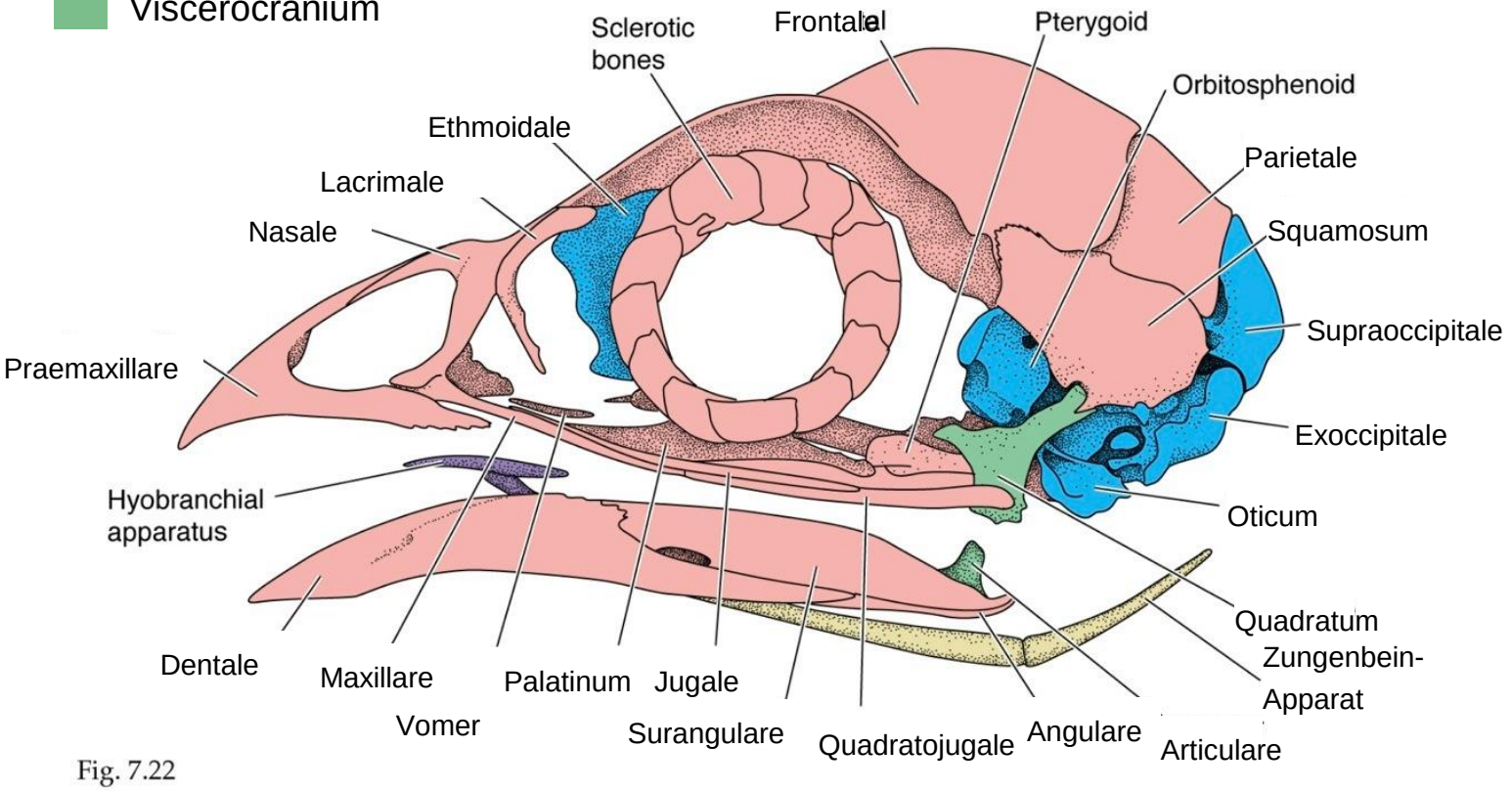


Fig. 7.22

Aus: Liem et al.: Functional Vertebrate Anatomy

Aves

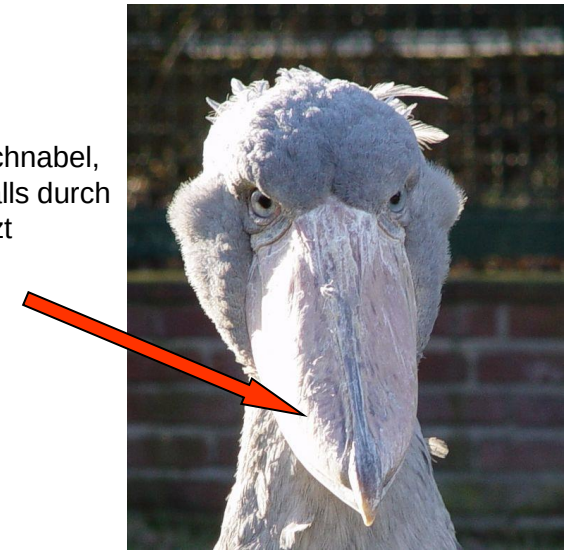
- **Autapomorphien**:

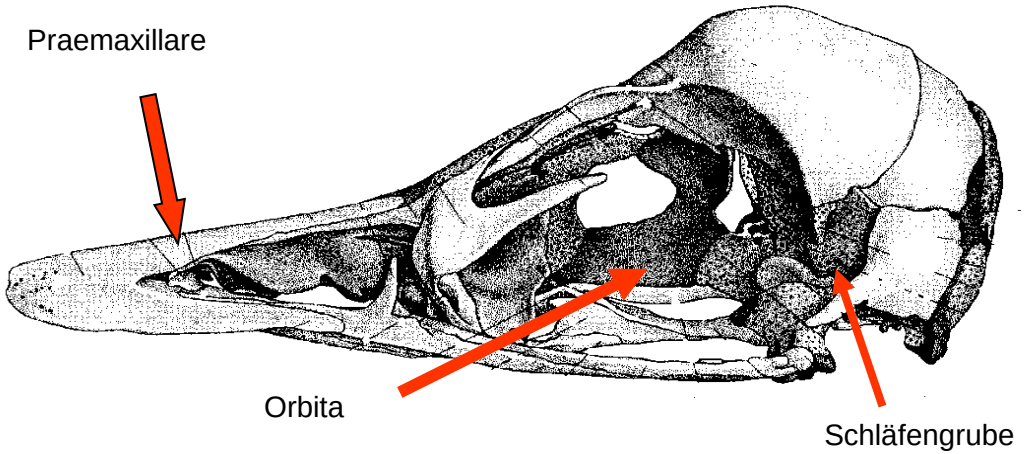
  - **Schnabelbildung** (im wesentlichen) durch Verlängerung des Prämaxillare.

  - Schläfengruben gehen in die Orbita über

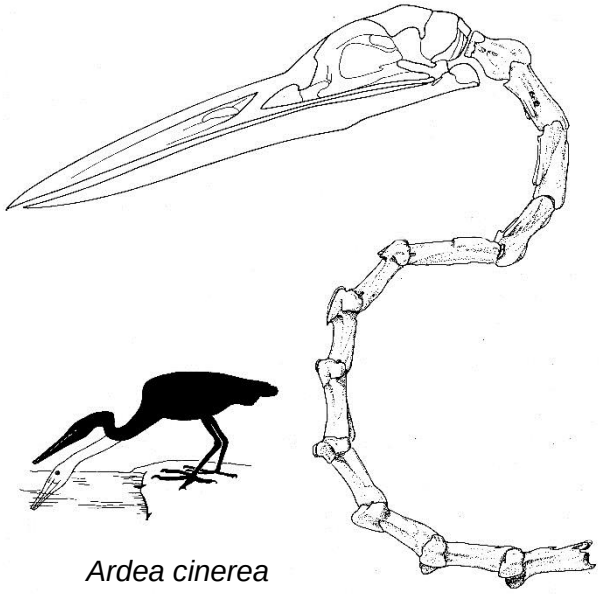
  - Halswirbelsäule verlängert, Wirbelkörper mit komplizierten Sattelgelenken

Der riesige Schnabel von *Balaeniceps rex*, Schuhschnabel, wird im Oberkiefer ebenfalls durch das Praemaxillare gestützt





Seitenansicht des Chondro- und Osteocraniums von *Rhea americana*



In der verlängerten Halswirbelsäule der Vögel sind die Wirbelkörper durch Sattelgelenke verbunden

Ardea cinerea

- **Schnabelbeweglichkeit (Rhynchokinetik)**

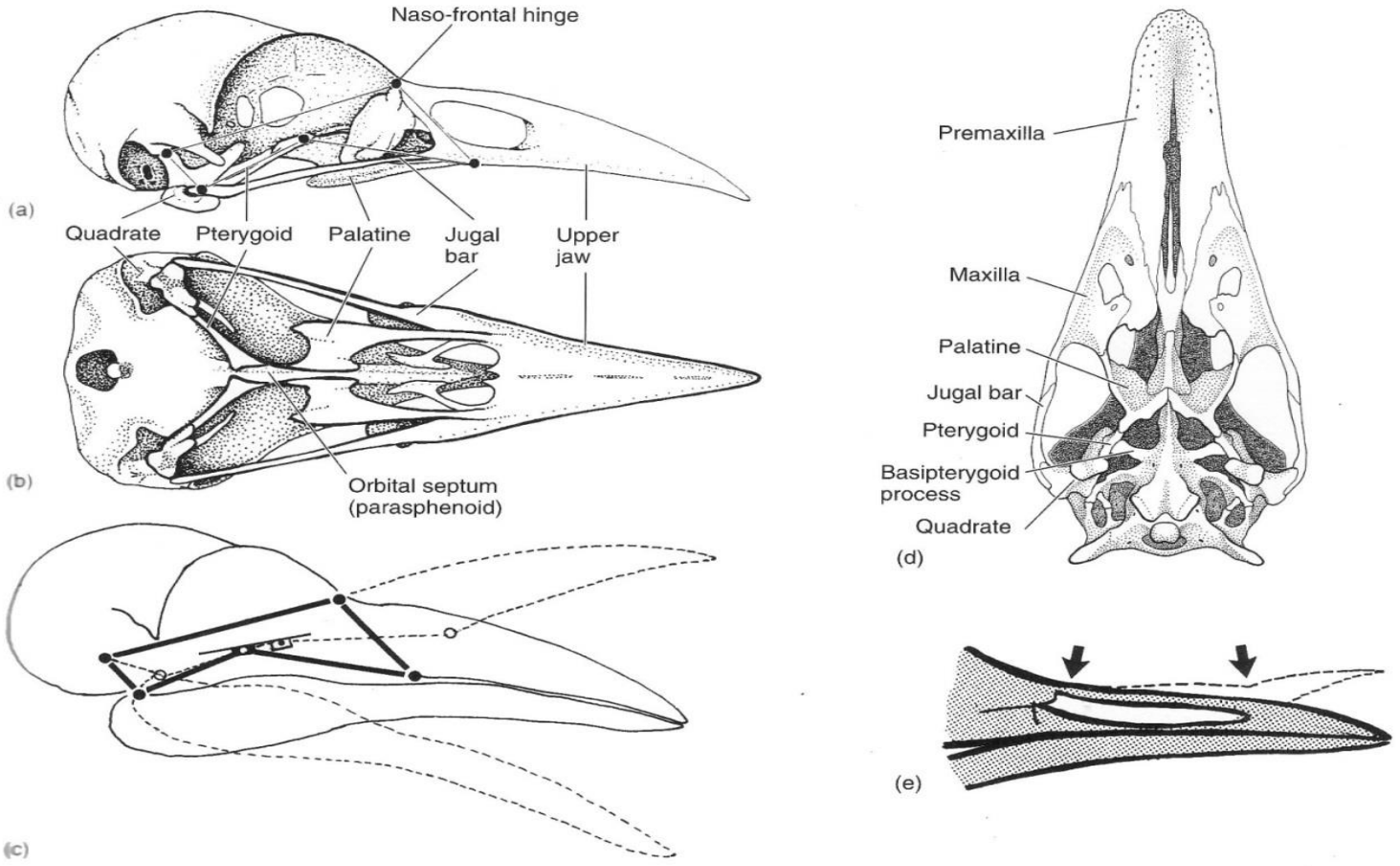


FIGURE 7.47 **Cranial kinesis in the crow skull (*Corvus*).** (a) Lateral view. (b) Ventral view. (c) Five-bar linkage model of cranial kinesis. From the rest position (solid), the point of coupling between pterygoids and palatines slides forward along the orbital septum to a new position (dashed lines) which lifts the upper jaw about the prokinetic joint (nasofrontal hinge). (d) Paleognath. Ostrich palate. (e) Rhynchokinesis. Flexions within the beak permit the tips of the upper and lower jaws to part without opening of the entire mouth.

Aves

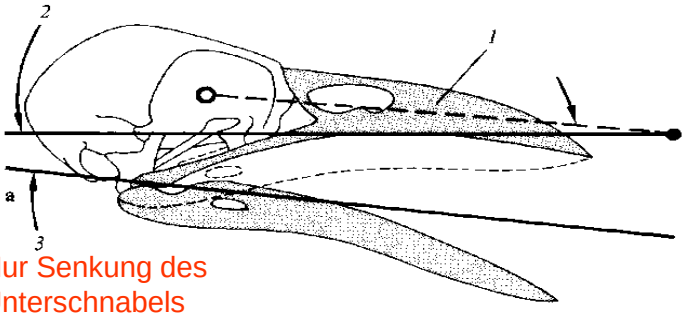
- **mit der Schnabelbildung in Verbindung:**

  - Reduktion der Zähne; Ersatz durch Hornscheiden,

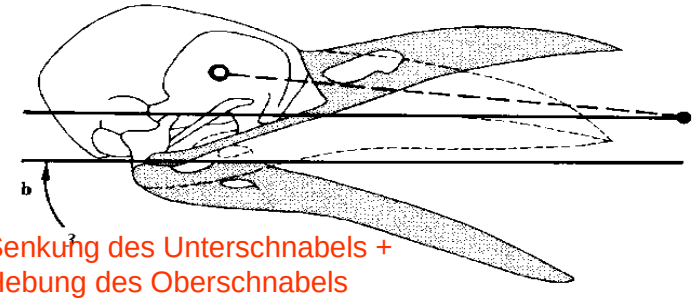
  - Quadratum frei beweglich

- **Streptostylie und Kinetik**

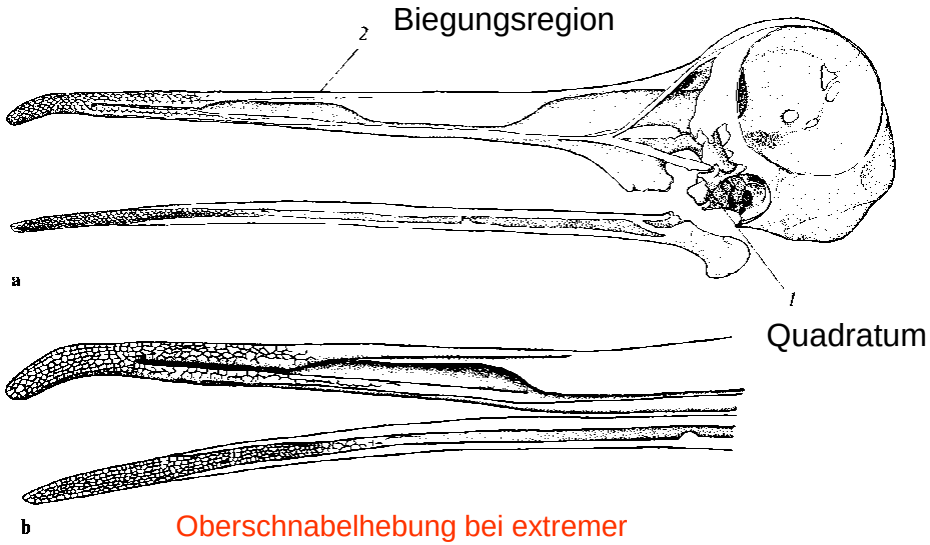
  Pro- und Rhynchokinetik)



Nur Senkung des Unterschnabels



Senkung des Unterschnabels + Hebung des Oberschnabels

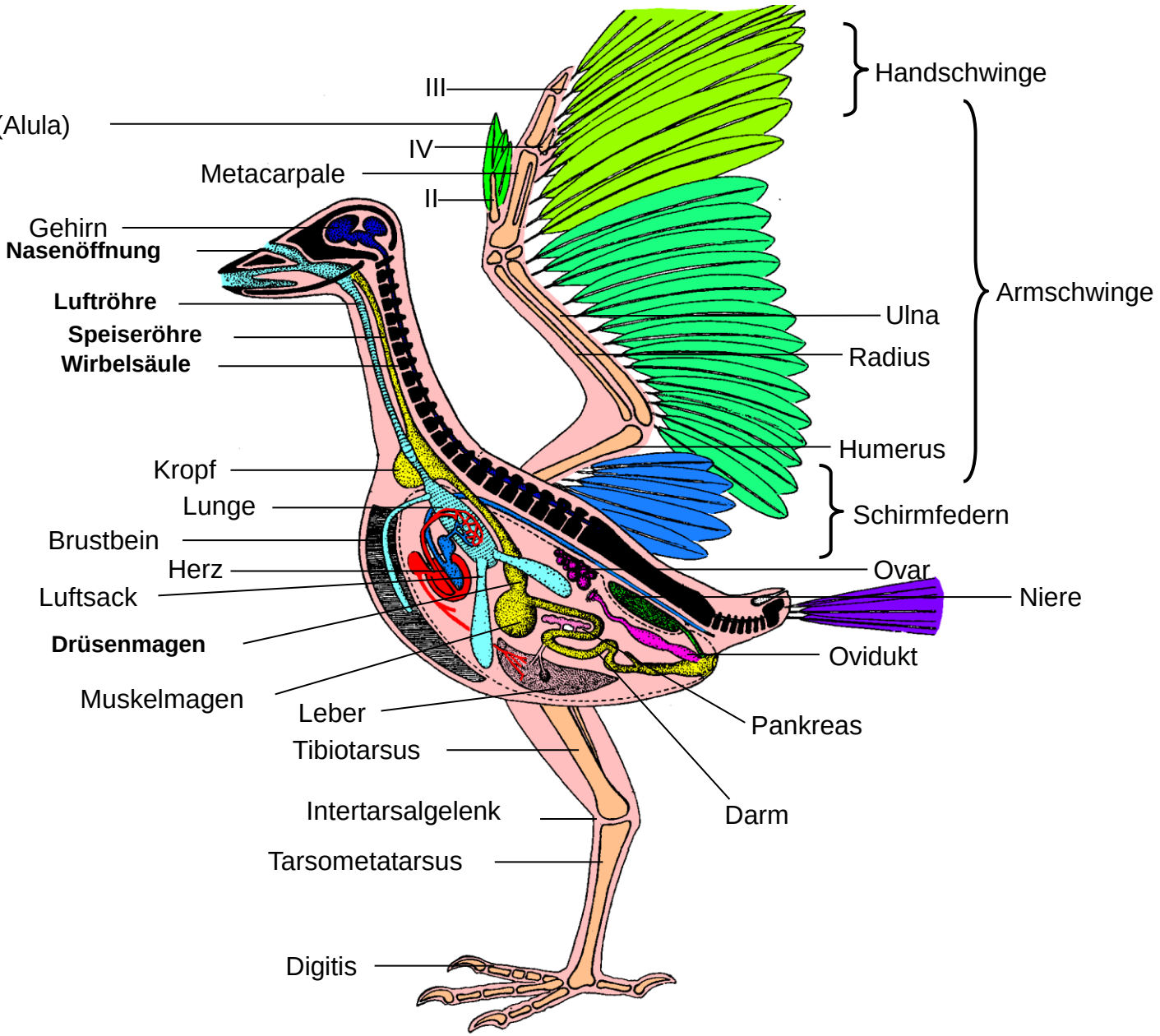


Oberschnabelhebung bei extremer Rhynchokinetik

Die funktionellen Vorteile der Kinetik

Die Rhynchokinetik eines Schnepfenschädels (*Scolopax rusticola*)

- **Anatomie**


III
Daumenfittich (Alula)
IV
Metacarpale
II
Gehirn
Nasenöffnung
Luftröhre
Speiseröhre
Wirbelsäule
Kropf
Lunge
Brustbein
Herz
Luftsack
Drüsenmagen
Muskelmagen
Leber
Tibiotarsus
Intertarsalgelenk
Tarsometatarsus
Digitis
Handschwinge
Armschwinge
Ulna
Radius
Humerus
Schirmfedern
Ovar
Niere
Ovidukt
Pankreas
Darm

Aves

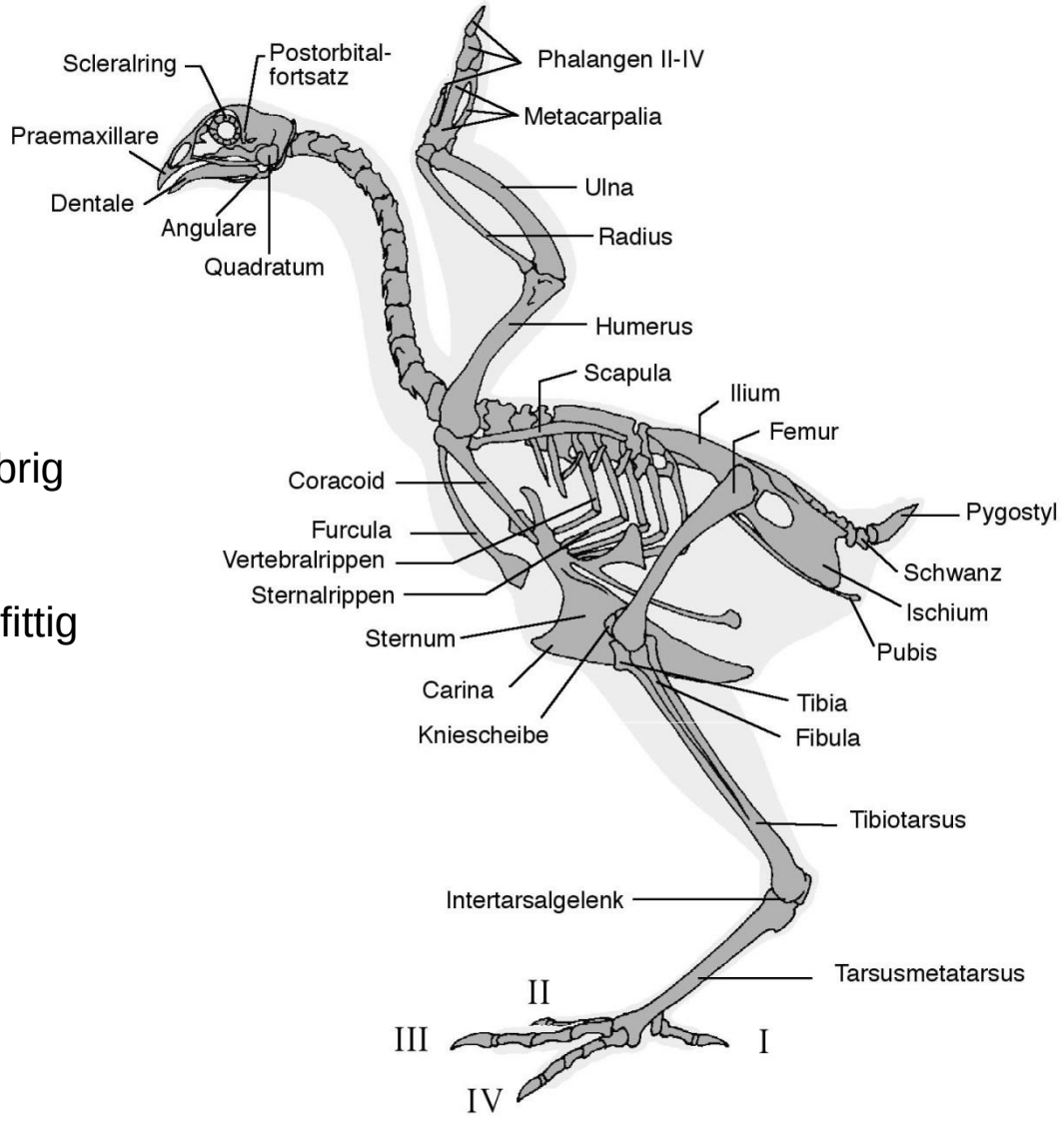
- **Skelett**

- **Vorderextremität = Flügel**

Verschmelzungen des Armskeletts.

Von der ursprünglich pentadactylen Extremität sind nur noch 3 Finger übrig und vereinfacht;

1. Finger (Daumen) = als Daumenfittig erhalten und abspreizbar
   (Landung, Steuerung)



Aves

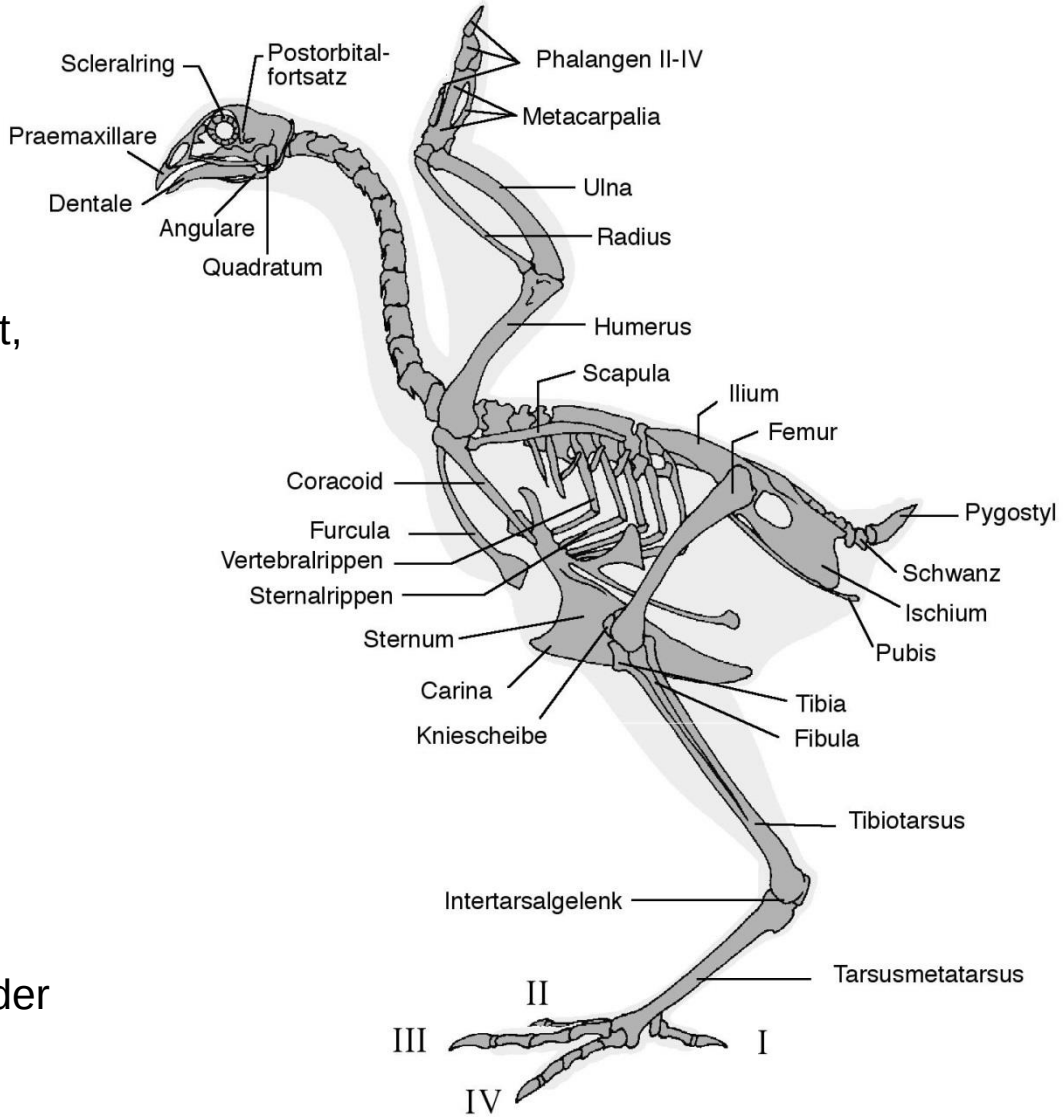
- **Skelett**

- **Brustbein (Sternum)**
  durch einen Kamm vergrößert, trägt die Flugmuskulatur (Carina sterni).

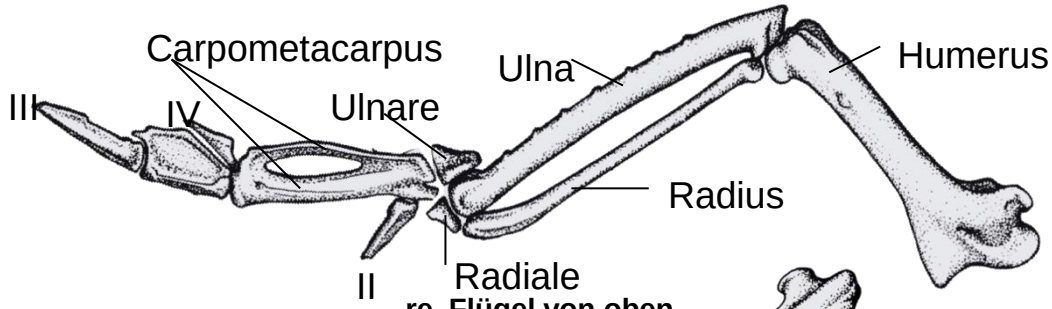
- Im **Bein** kam es ebenfalls zu Verschmelzungen:

- Das Kniegelenk ist unter dem Gefieder.
- Das sichtbare Gelenk ist das Tibiotarsalgelenk.

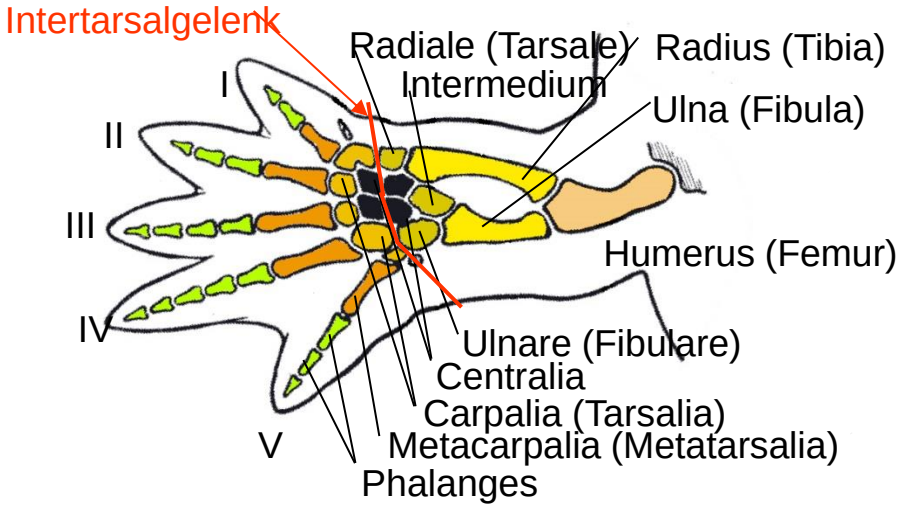
- 5. Zehe ist immer reduziert, der Hallux (I) ist nach hinten gerichtet.



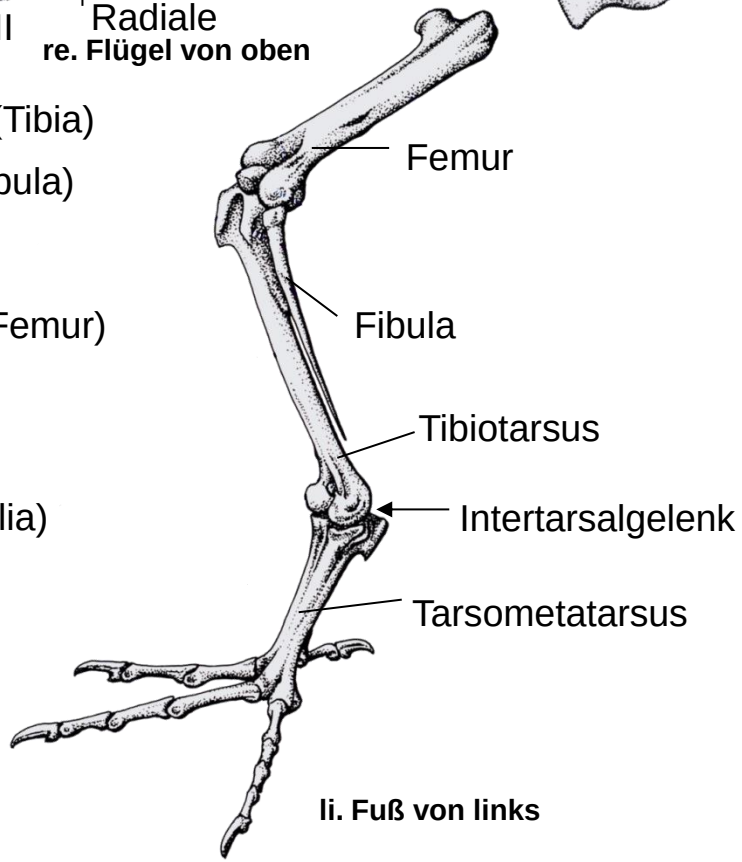
- **Extremitäten**



re. Flügel von oben



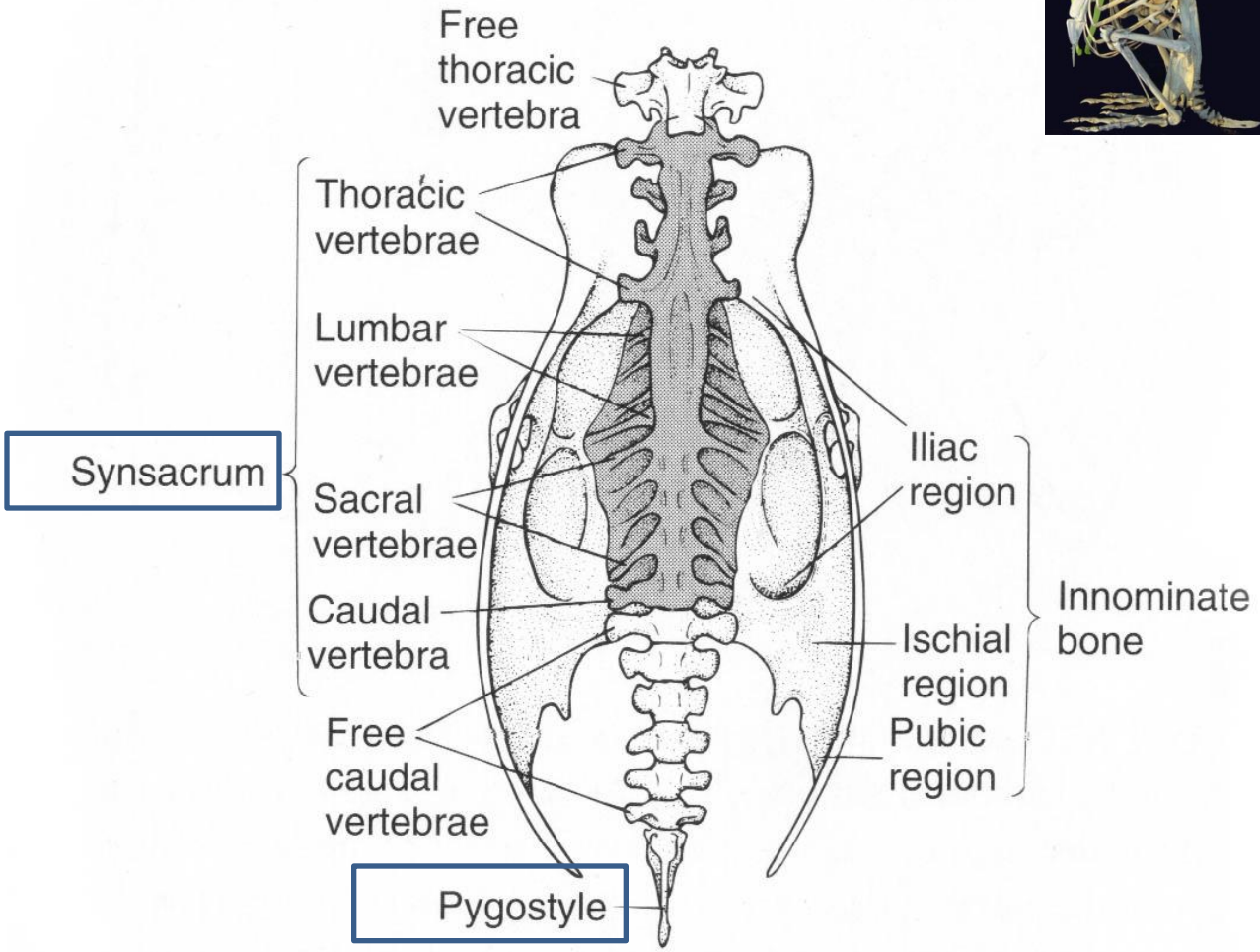
I – V Digitus (Finger/Zehen) mit 2-5 Phalanges (Finger/Zehenglieder); die rote Linie zeigt die Lage des Intertarsalgelenkes an.



li. Fuß von links

Aves

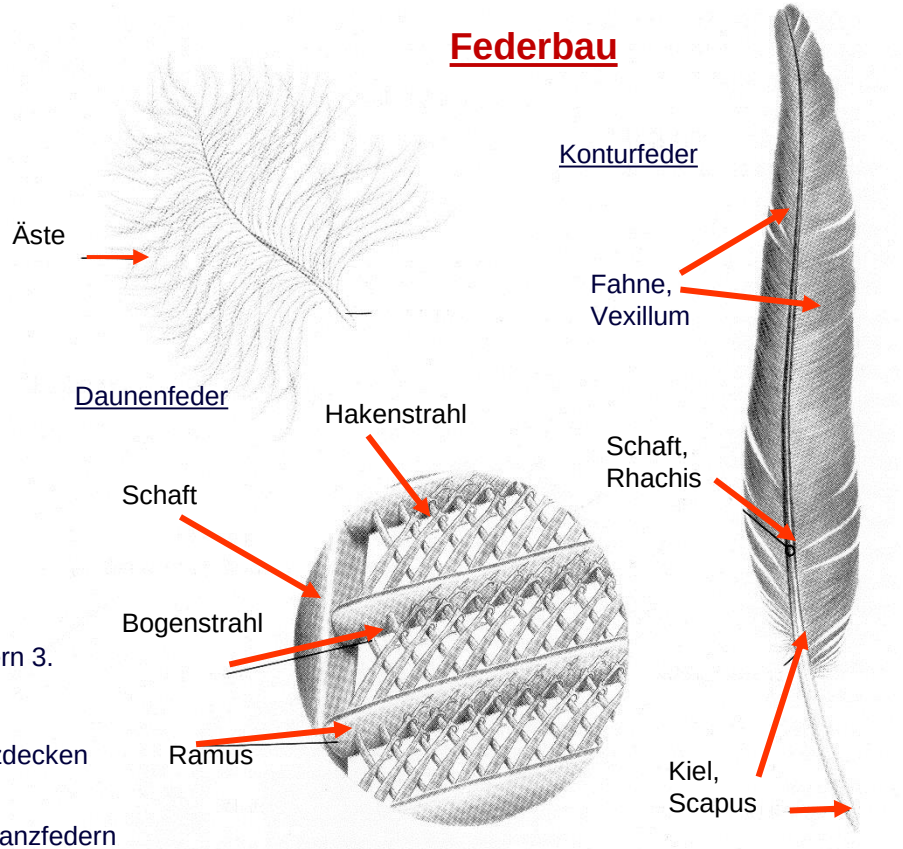
- **Skelett, Beckenregion**



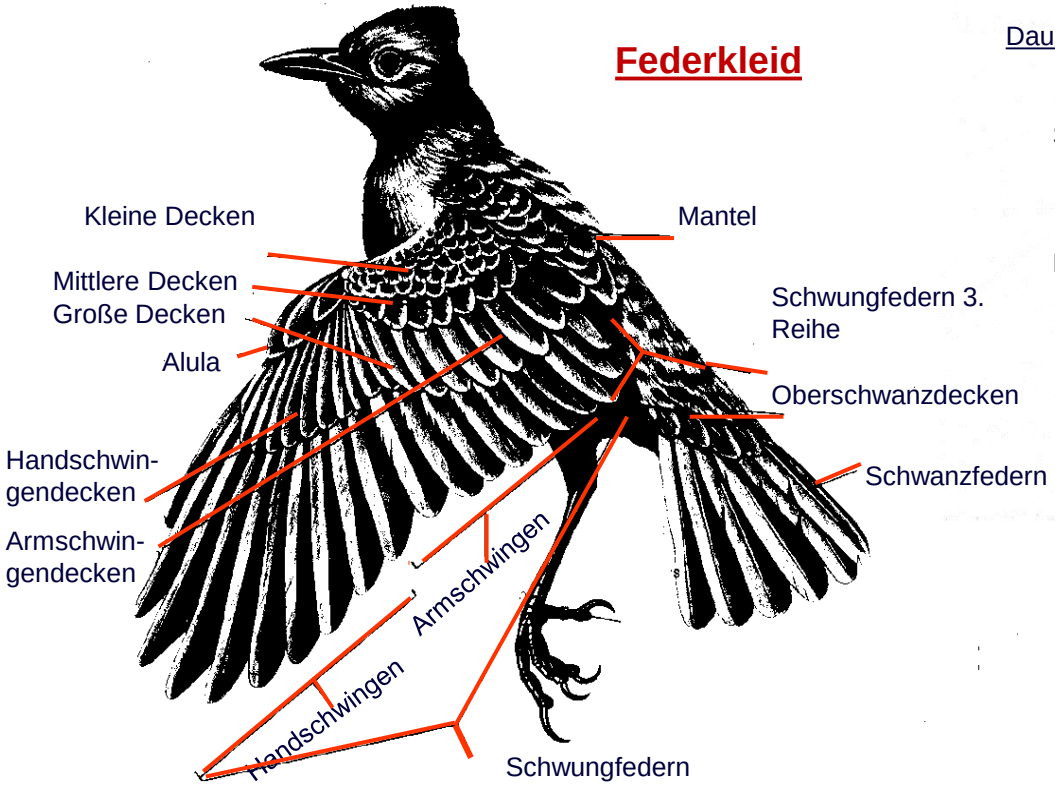
Aves

- **Feder**

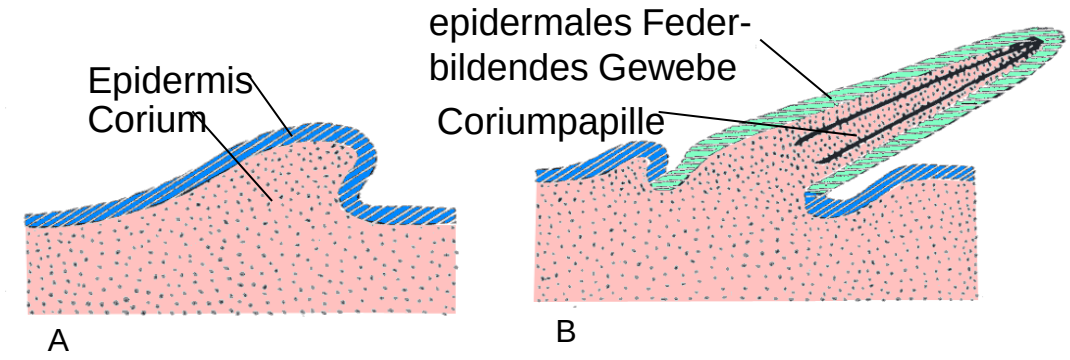
Federbau

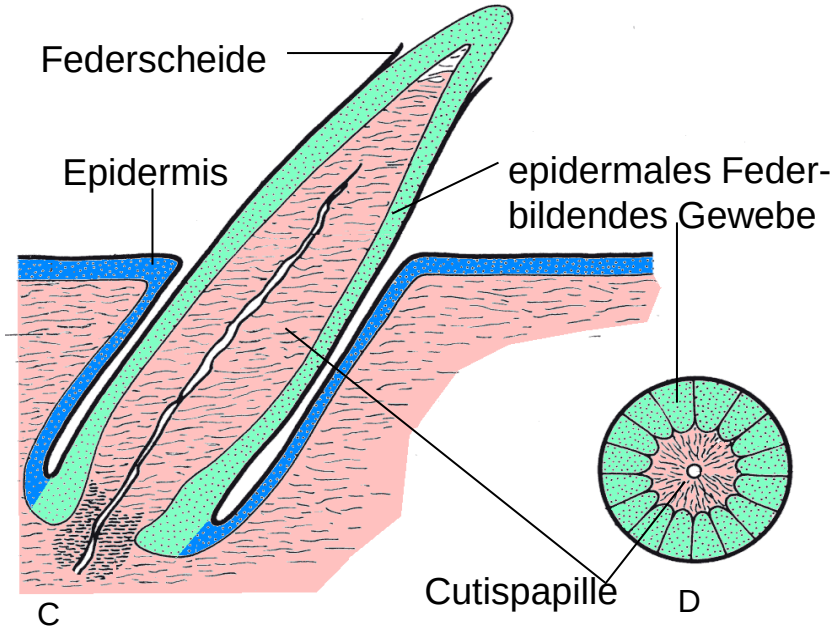


Federkleid

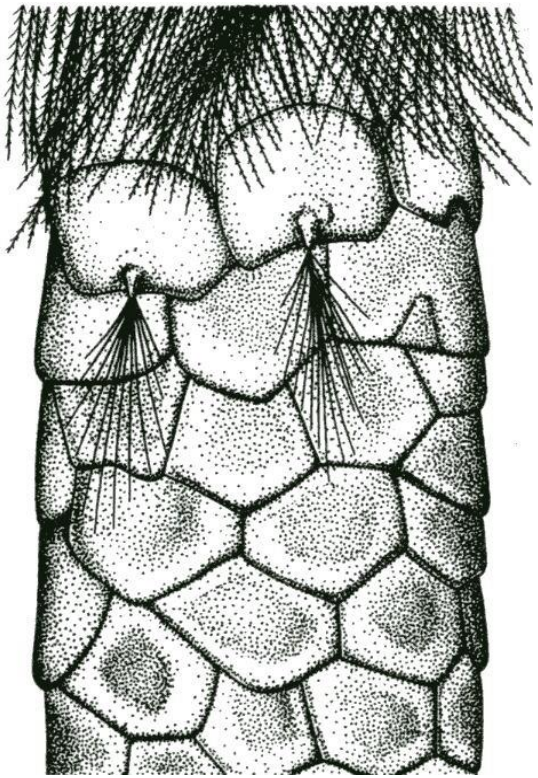


- **Entwicklung der Federn**





A – D: fortschreitende Entwicklungsstufen einer Dune im Längsschnitt; D Querschnitt von C; Die Federn sind Hornbildungen und daher reine Epidermisbildungen.



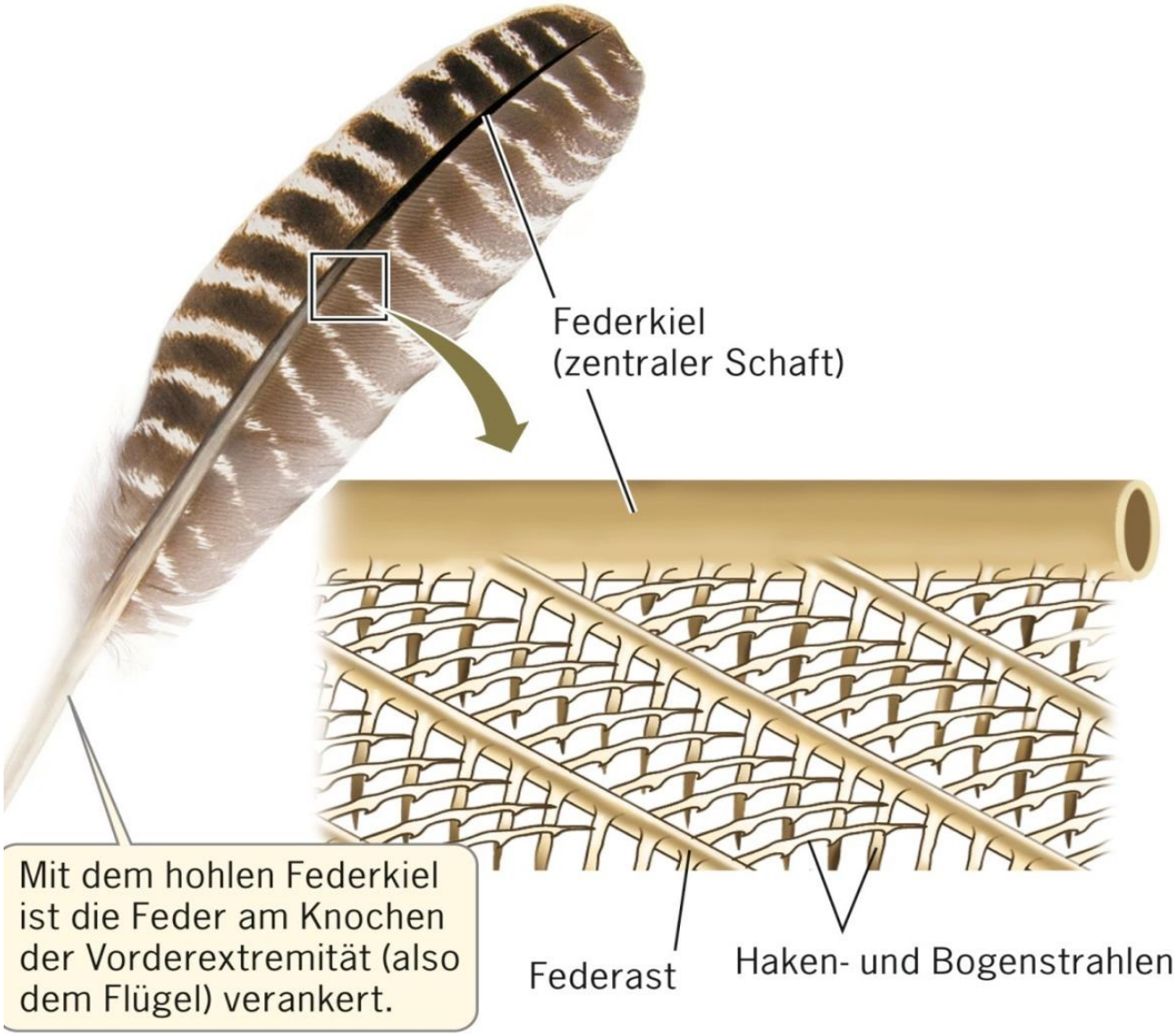
E: Lauf eines Falken

Traditionell werden Federn als Derivate von Reptilienschuppen angesehen. Dafür spricht neben der anfänglich gleichen Entwicklung von Schuppe und Feder, dass man im Übergangsbereich zwischen federtragender und schildertragender Zone am Lauf einiger Vögel Hornschilder findet, die noch Federreste tragen.

Einer neueren Hypothese zur Folge werden röhrenförmige Epidermispapillen als Vorläuferstrukturen der Federn diskutiert.

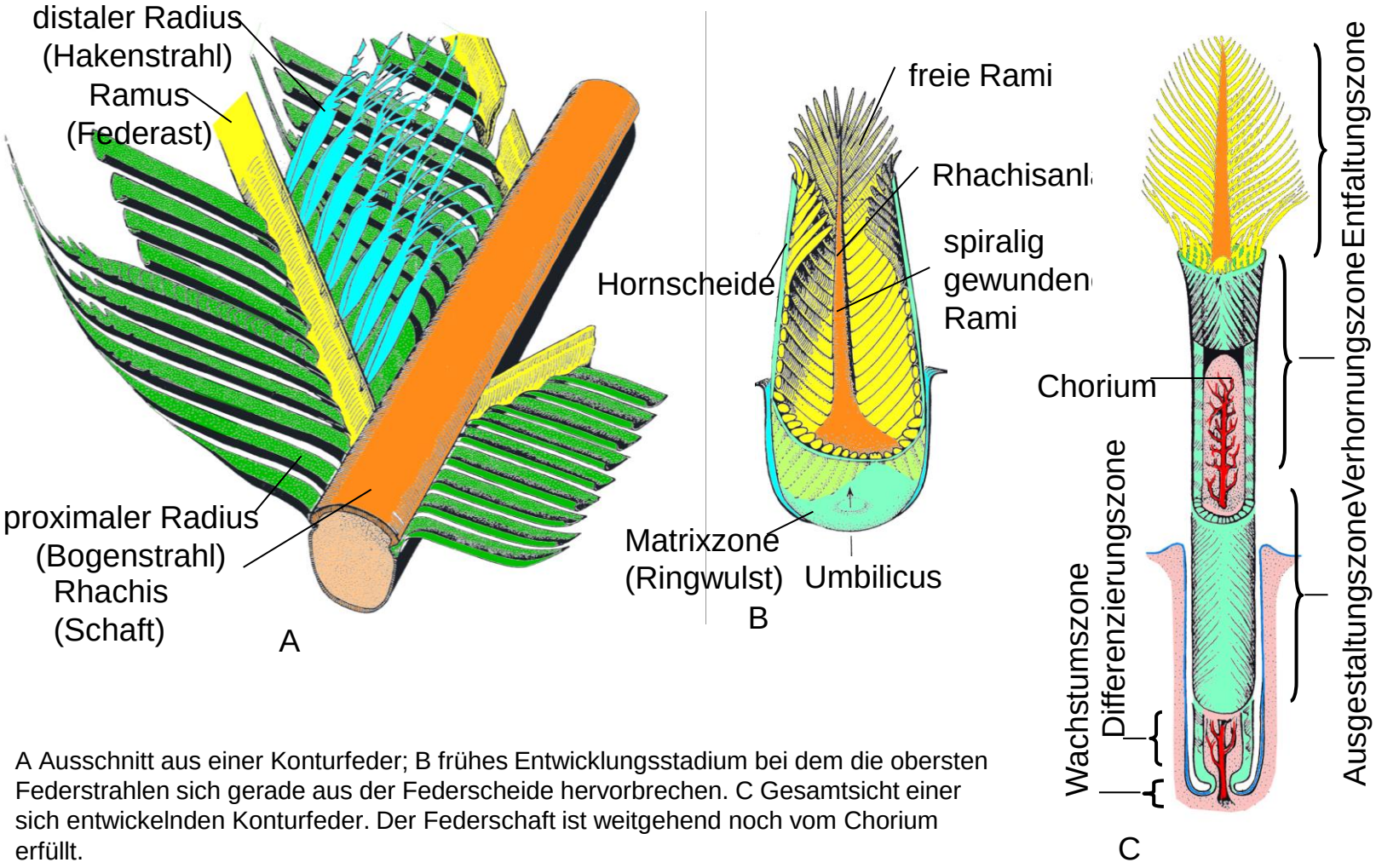
Aves

- **Federn**


Federkiel
(zentraler Schaft)
Mit dem hohlen Federkiel ist die Feder am Knochen der Vorderextremität (also dem Flügel) verankert.
Federast
Haken- und Bogenstrahlen

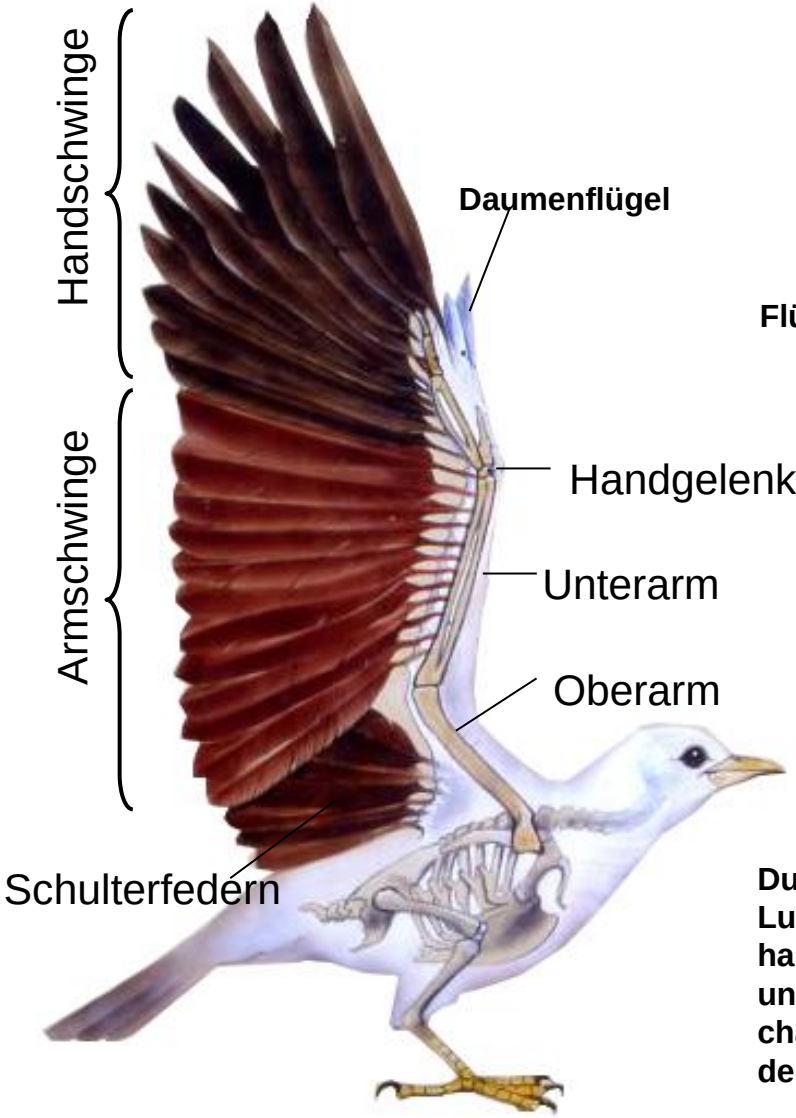
Sadava, Hillis, Heller, Berenbaum, *Purves Biologie*, 9. Aufl. © Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg 2012

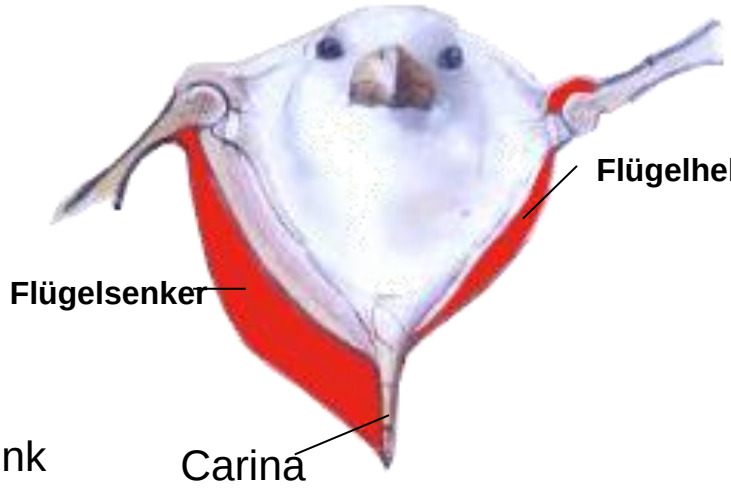
- **Bau und Entwicklung der Konturfeder**

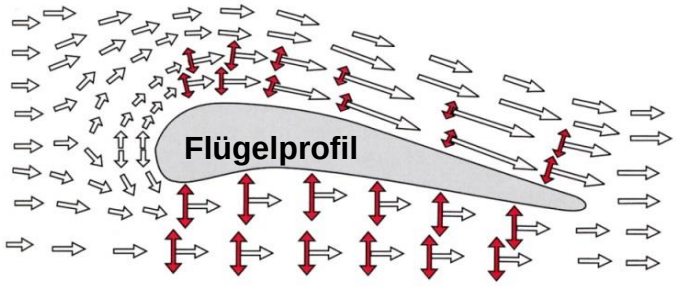


A Ausschnitt aus einer Konturfeder; B frühes Entwicklungsstadium bei dem die obersten Federstrahlen sich gerade aus der Federscheide hervorbrechen. C Gesamtsicht einer sich entwickelnden Konturfeder. Der Federschaft ist weitgehend noch vom Chorium erfüllt.

- **Vogelflug**

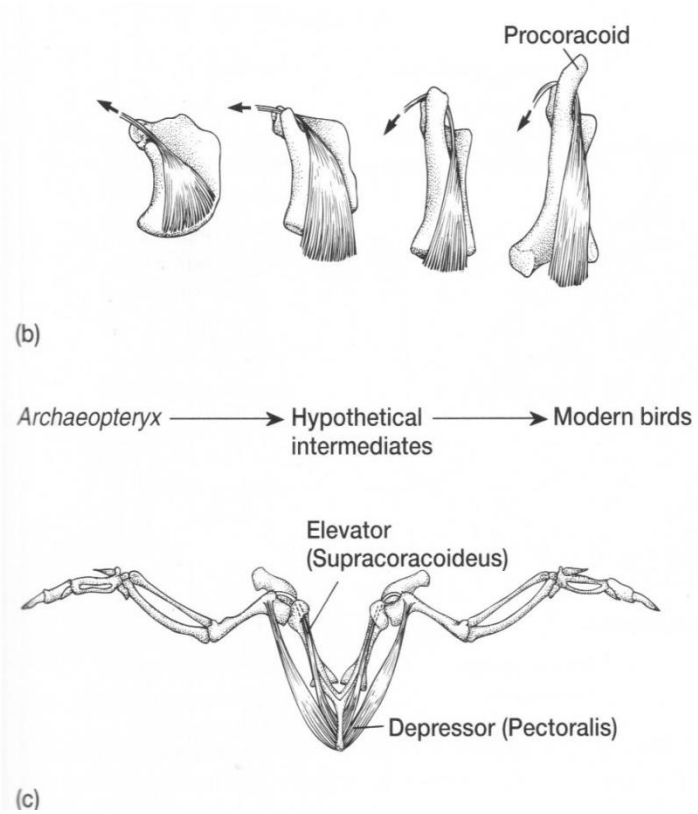


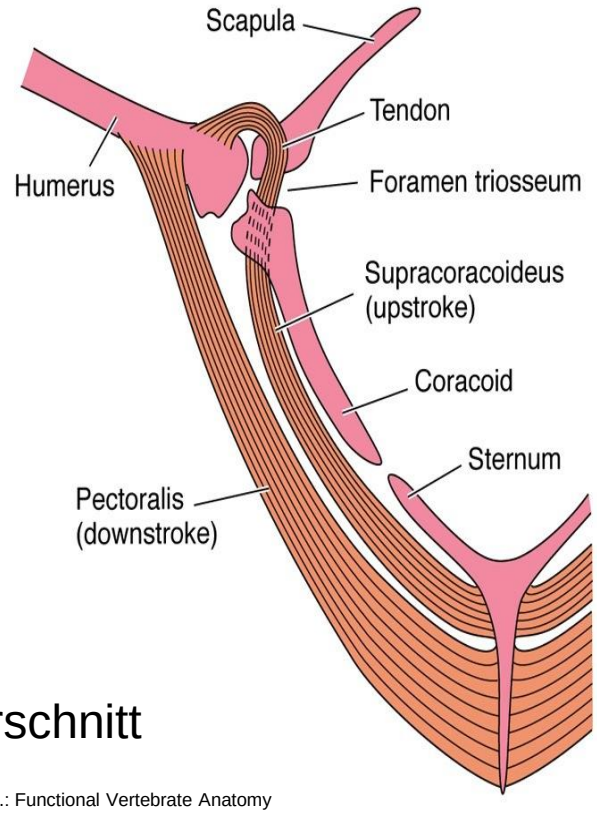




Durch das Flügelprofil verteilt sich die anströmende Luft über und unter dem Flügel unterschiedlich. Überhalb des Flügels herrscht daher Unterdruck, unterhalb dessen Überdruck. Die weißen Pfeile charakterisieren in ihrer Länge die Geschwindigkeit der Luftströmung, die roten Pfeile den Druck.

Vogelflug

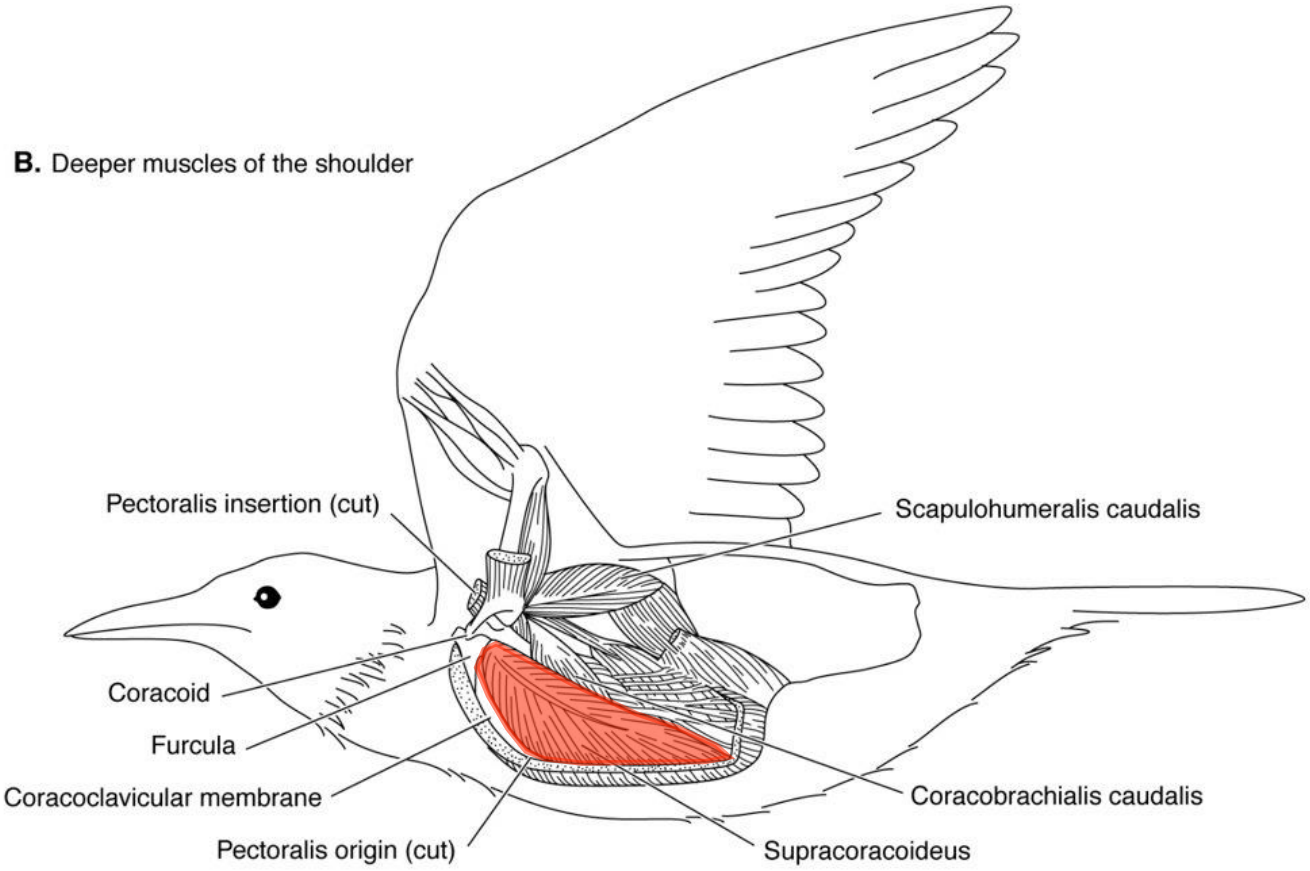




Querschnitt

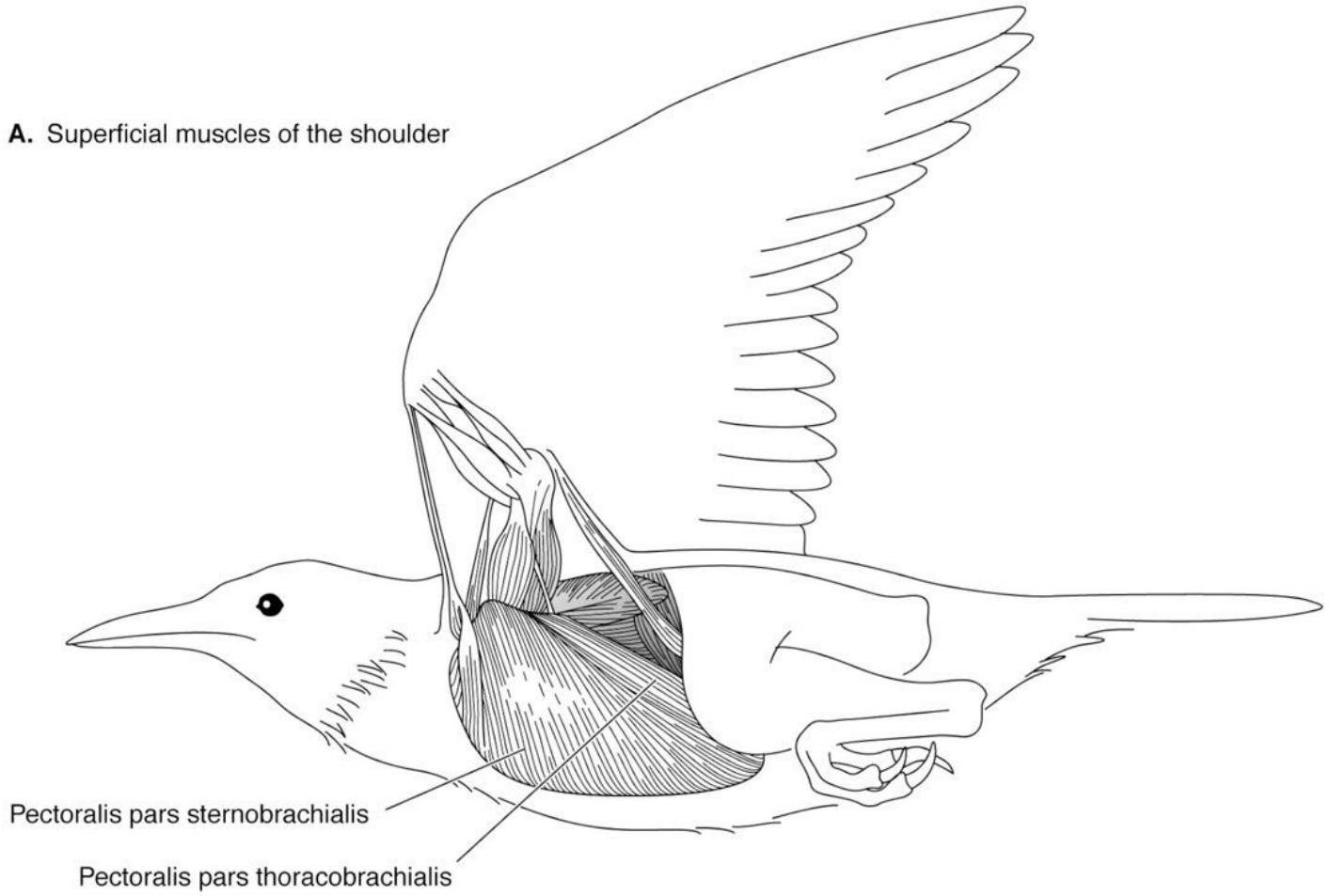
Aus: Liem et al.: Functional Vertebrate Anatomy

Flugmuskulatur: Aufschlag



Aus: Liem et al.: Functional Vertebrate Anatomy

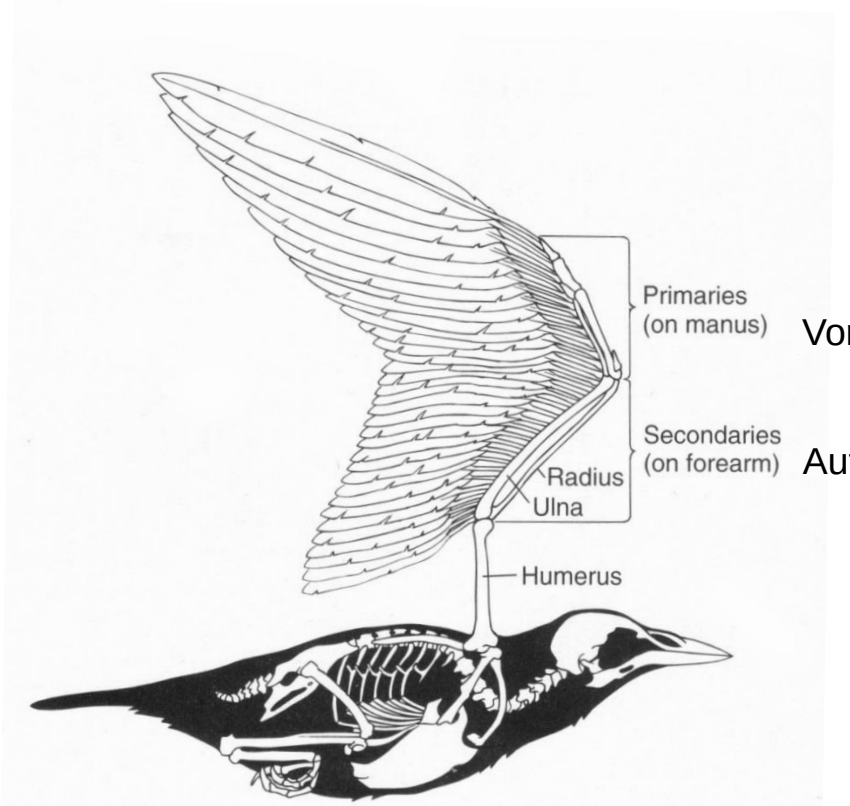
Flugmuskulatur: Abschlag



Aus: Liem et al.: Functional Vertebrate Anatomy

- **Vogelflug**

Funktionelle Gliederung am Flügel



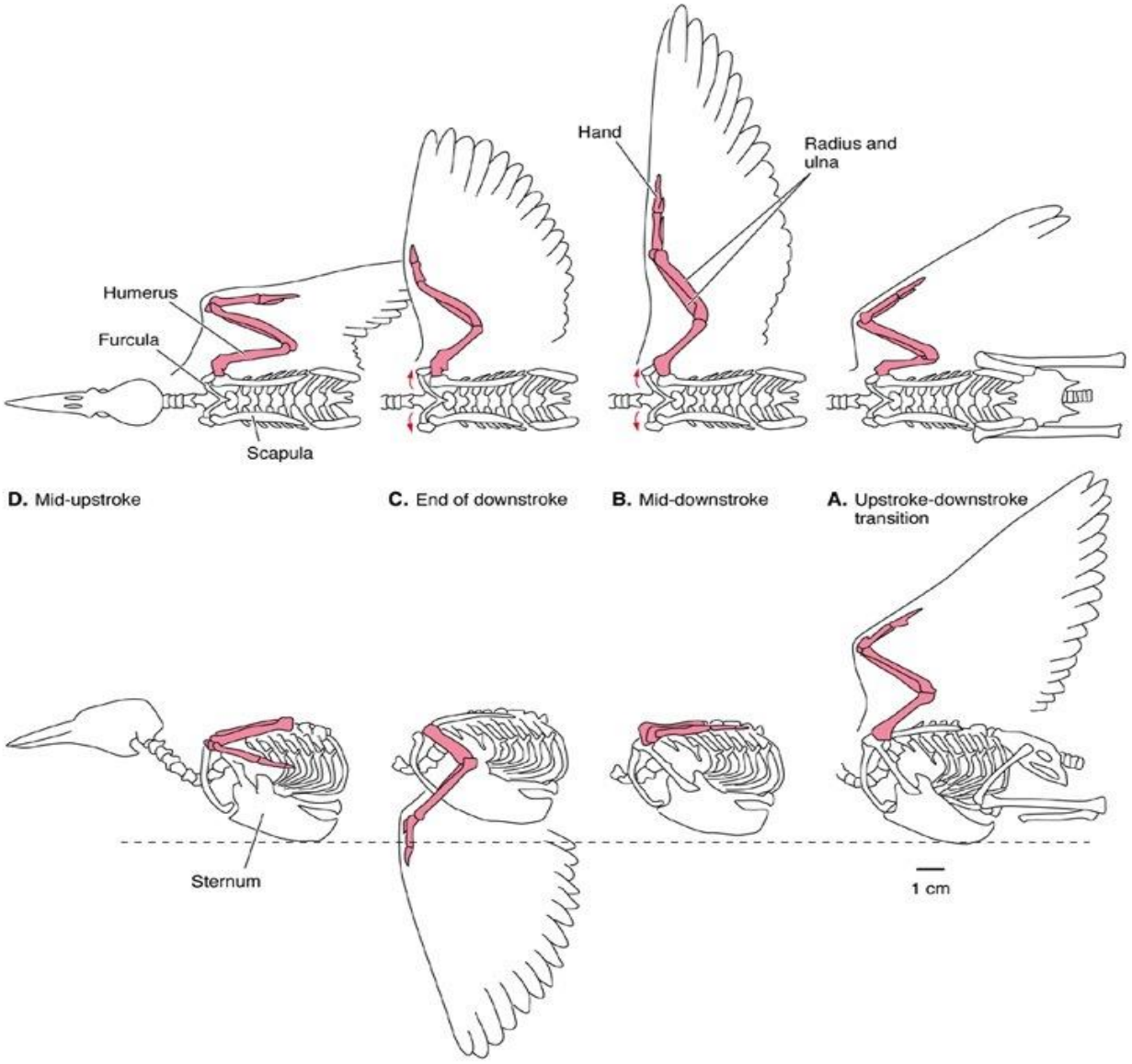
Vortrieb

Auftrieb

FIGURE 9.43 **Feathers along the wing divide the functions of flight among them.** Those at the tip, the primaries, attach to the manus and are primarily responsible for producing thrust; those more proximal, the secondaries, attach to the forearm and are primarily involved in producing lift.

Aves

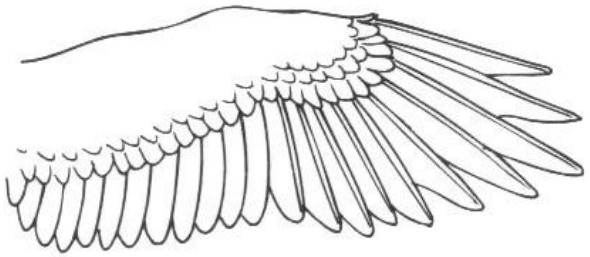
- **Vogelflug**



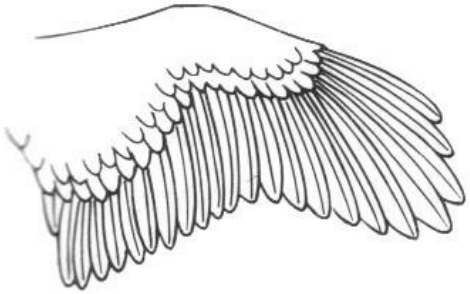
- **Zeigt her Eure Flügel …**

Ökomorphologie des Flügels

(a) Sturmtaucher



(b) Bussard



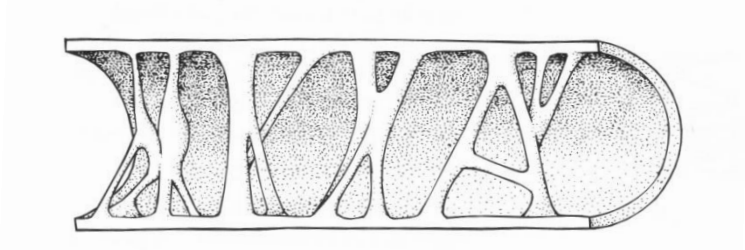
(c) Fasan

(d) Schwalbe

Aves

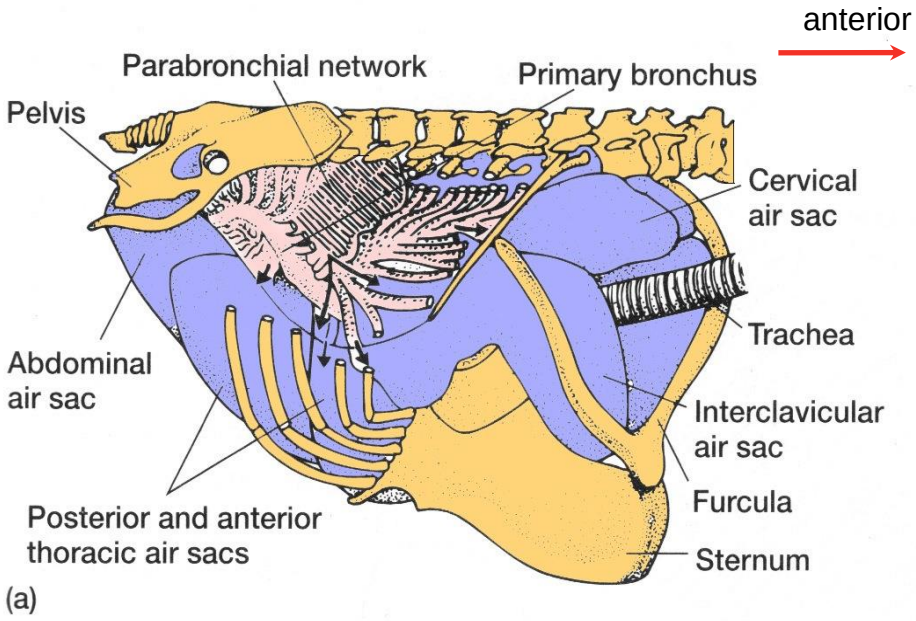
- **Leichtbauweise durch**

  pneumatisierte Knochen



- **Luftsacksystem der Lunge**

  Außerdem besitzen sie neben einer hoch effizienter Lunge ein Luftsacksystem zur Ventilation der Lunge.
  Dieser besondere Aufbau ermöglicht die physiologisch vorteilhafte unidirektionale Durchströmung der Mehrzahl der Parabronchien bei In- und Expiration.



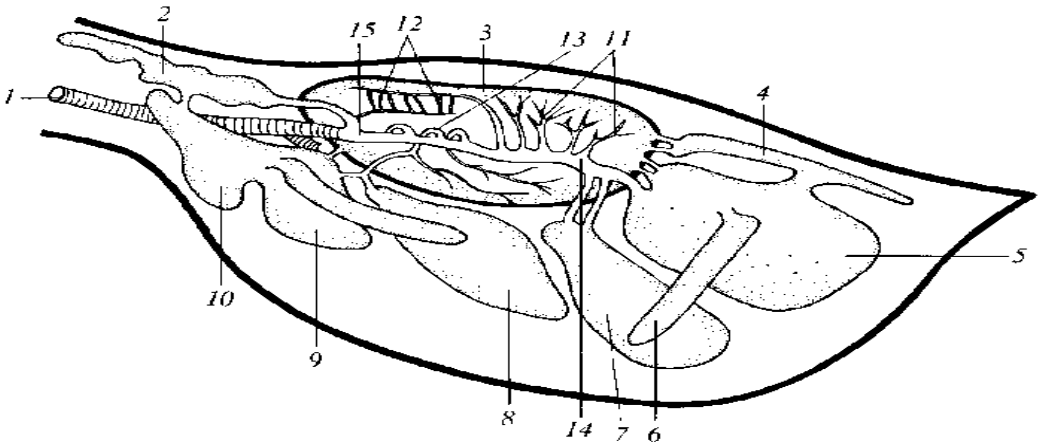
(aus Kardong)

- **Luftsacksystem der Lunge**

Der Atemapparat der Vögel zeigt besonders deutlich die Anpassung des Organismus an die fliegende Fortbewegungsweise; die Entwicklung dieses Organsystems ist unter den Wirbeltieren einzigartig.

Bei den Lungen selbst handelt es sich um volumenkonstante Organe, die beim Atmen in immer derselben Richtung von der Atemluft durchströmt werden; es gibt also keinen – anders als sonst bei der Lungenatmung der Wirbeltiere nach dem Blasebalgprinzip - Wechsel der Strömungsrichtung zwischen Ein- und Ausatmung einen.

Für diese Atemmechanik besitzt der Respirationsapparat der Vogellunge eine Anzahl von Luftsäcken, die durch Ausprossen aus dem Lungengewebe entstehen. Die Luftsäcke dehnen sich weit nach cranial und caudal (bis in die Peritonealhöhle) aus.



Lunge und Luftsacksystem der Vögel. Allgemeines Schema.

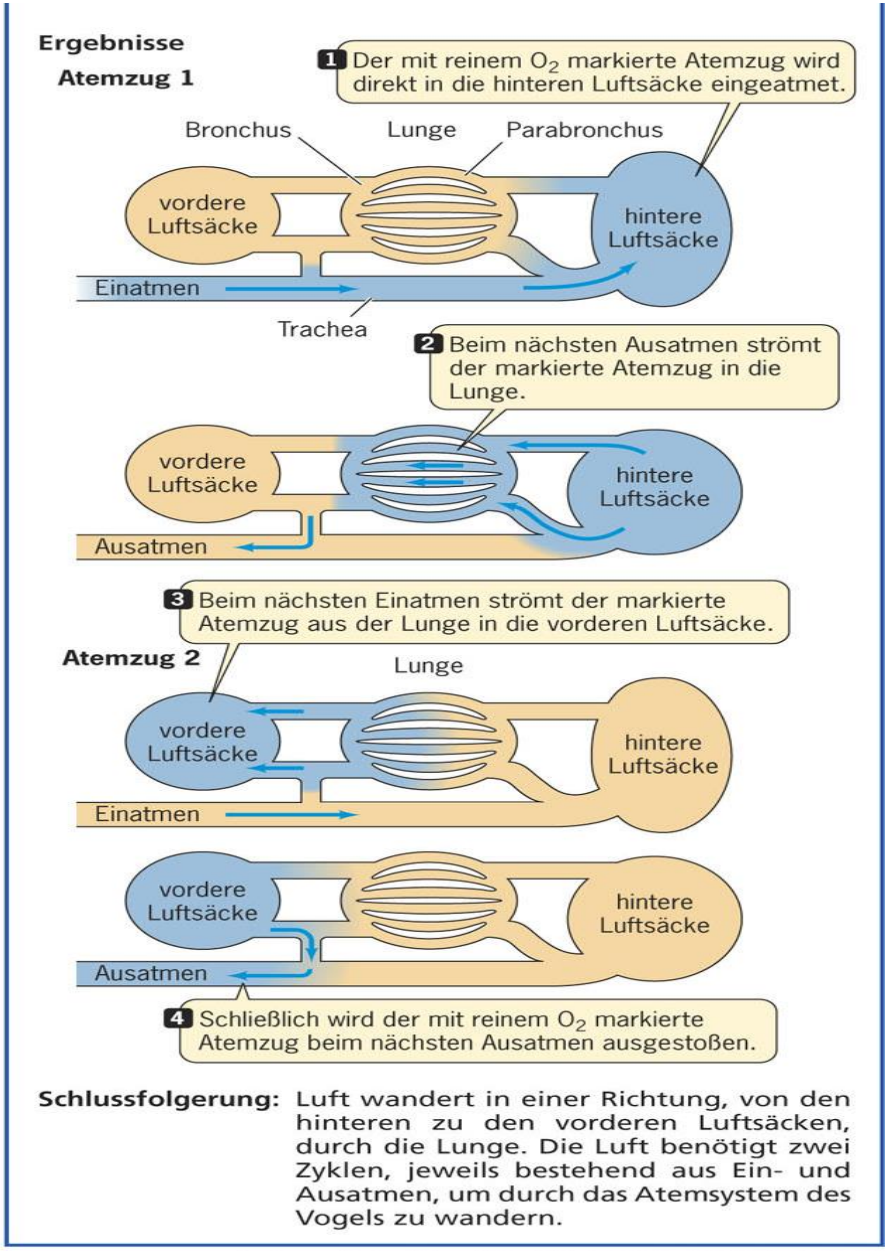
1 Trachea	*5* Saccus abdominalis	*8* S. thoracalis ant.	*13* Ventrobronchi
2 Saccus cervicalis	*6* S. femoralis	*9* S. pectoralis	*14* Mesobronchus (Hauptbronchus)
3 Lunge	*7* S. thoracalis posterior	*10* S. interclavicularis	*15* Primärer Bronchus
4 Sack zum Synsacrum		*11* Dorsobronchi	
		12 Parabronchi	

Aves

- **Atemapparat & Luftsacksystem**

Luft strömt nur

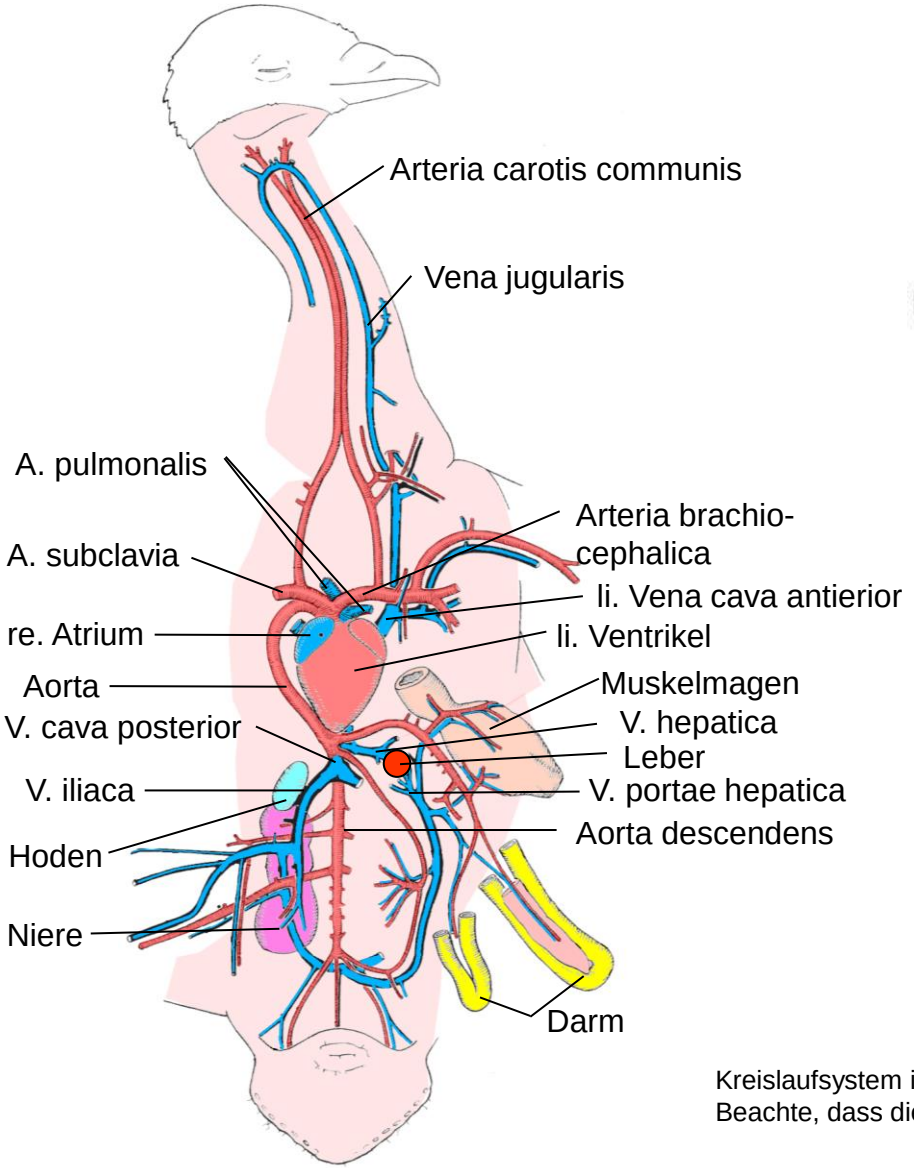
in eine Richtung !

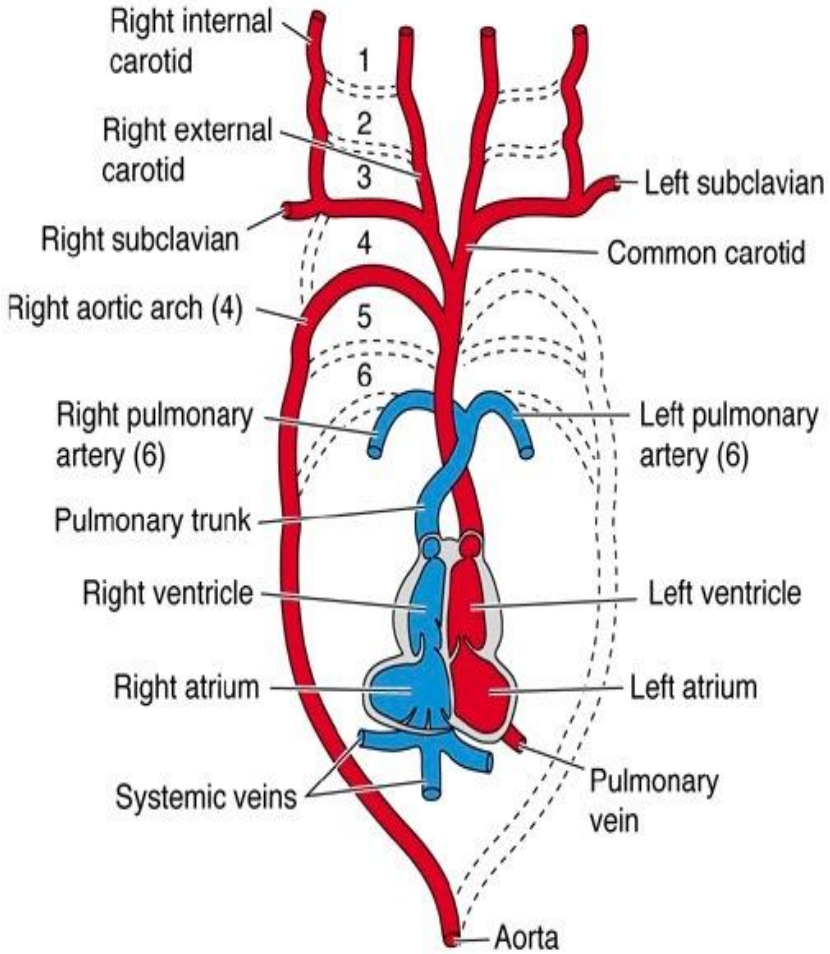

Ergebnisse
Atemzug 1
1 Der mit reinem O_2 markierte Atemzug wird direkt in die hinteren Luftsäcke eingeatmet.
Bronchus
Lunge
Parabronchus
vordere Luftsäcke
hintere Luftsäcke
Einatmen
Trachea
2 Beim nächsten Ausatmen strömt der markierte Atemzug in die Lunge.
vordere Luftsäcke
hintere Luftsäcke
Ausatmen
3 Beim nächsten Einatmen strömt der markierte Atemzug aus der Lunge in die vorderen Luftsäcke.
Atemzug 2
Lunge
vordere Luftsäcke
hintere Luftsäcke
Einatmen
vordere Luftsäcke
hintere Luftsäcke
Ausatmen
4 Schließlich wird der mit reinem O_2 markierte Atemzug beim nächsten Ausatmen ausgestoßen.
Schlussfolgerung: Luft wandert in einer Richtung, von den hinteren zu den vorderen Luftsäcken, durch die Lunge. Die Luft benötigt zwei Zyklen, jeweils bestehend aus Ein- und Ausatmen, um durch das Atemsystem des Vogels zu wandern.

Aus Purves/Sadava/Orians/Heller, *Biologie*, 7. Aufl., © 2006 Elsevier GmbH

Aves

- **Blutkreislaufsystem**

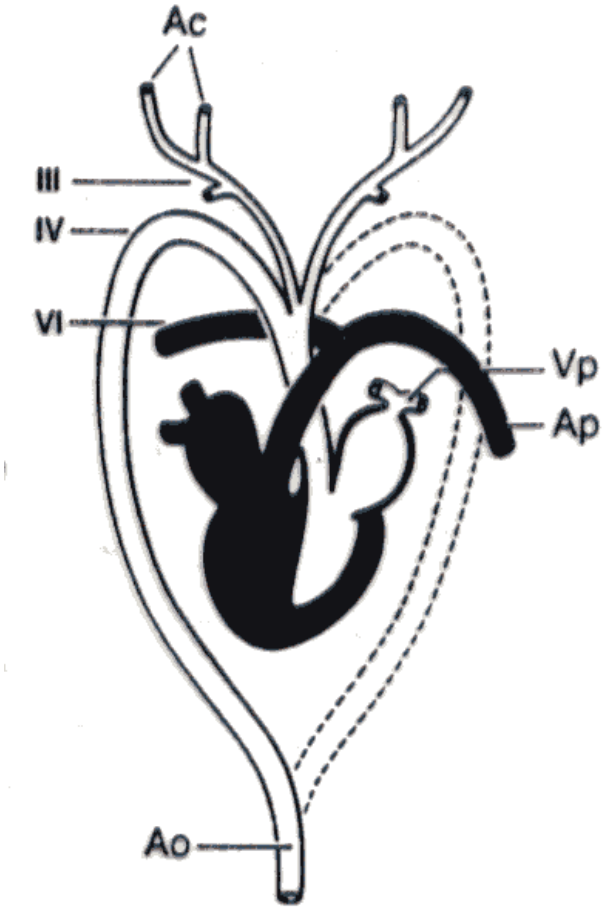


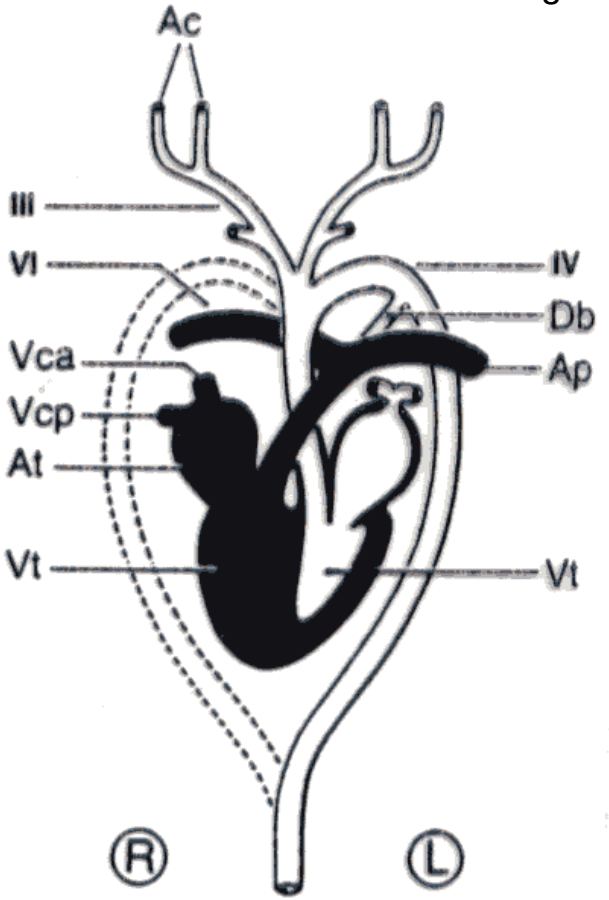


Kreislaufsystem im Überblick:
Beachte, dass die meisten Gefäße nur einseitig eingezeichnet sind.

Aves: Vergleich mit Säugern

- **Vollständige Trennung zwischen Lungen- und Körperkreislauf**
  - Bei Vögeln & Säugern = vollständige Trennung zwischen Lungen- und Körperkreislauf.
  - Bei **Aves**: fehlt **linker** Aortenbogen - Carotiden aus rechtem Aortenbogen (wie bei allen Sauropsiden).
  - bei **Mammala**: fehlt **rechter** Aortenbogen - Carotiden aus linkem Aortenbogen.





- **Apomorphie: Syrinx**

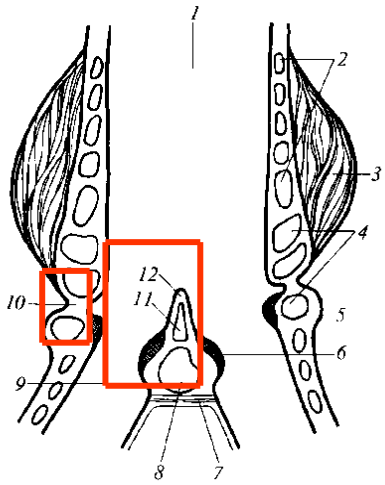
  - Reduktion des Larynx und
  - Entwicklung des Syrinx

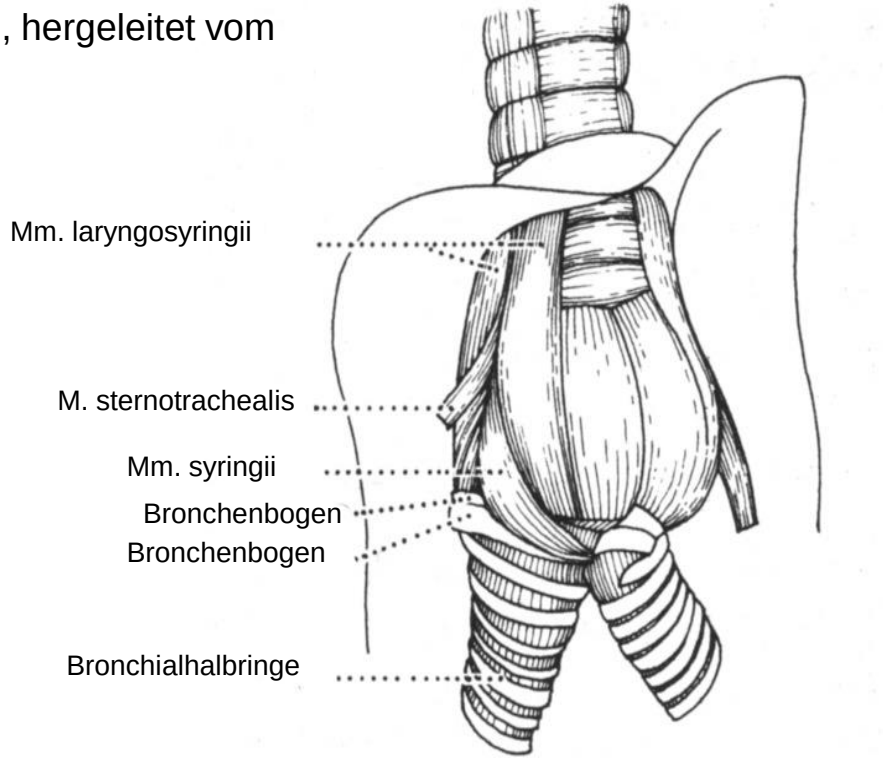
    (= unterer Kehlkopf);

Dieser ist bei Singvögeln besonders hoch entwickelt mit mehreren Membranen und 7 syrinxeigenen Muskeln, hergeleitet vom M. sternohyoideus.

Syrinx („unterer Kehlkopf") eines Singvogels.
Frontalschnitt

1 Trachea
2 Trommel
3 Muskel
4 Bronchialringe I–III
5 Labium externum
6 Labium internum
7 Bronchodesmus
8 Luftsackdivertikel
9 Membrana tympani interna
10 Membrana tympani externa
11 Pessulus
12 Plica semilunaris

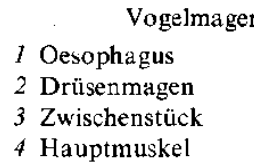




Aves

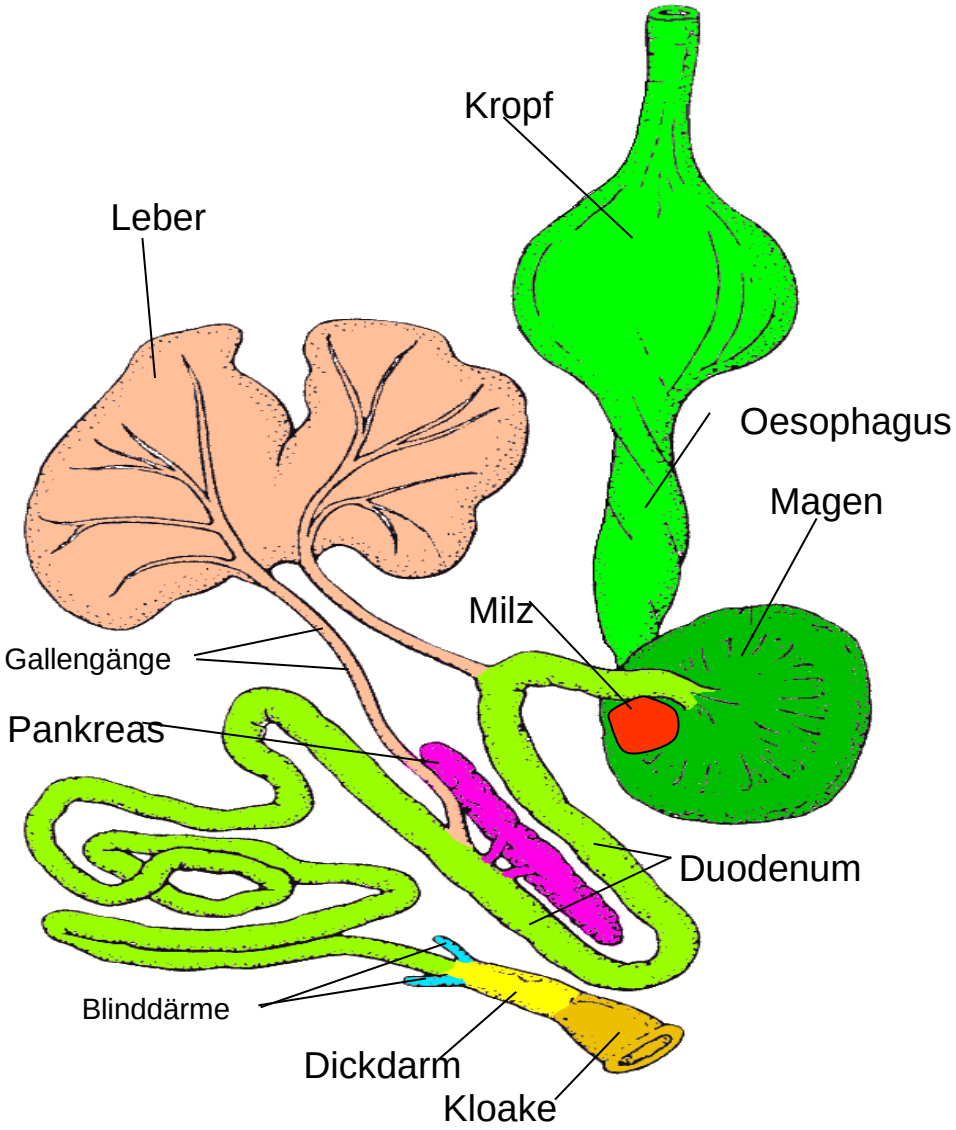
- **Apomorphie: Drüsen- und Muskelmagen**

  in Anpassung an Verlust der Zähne



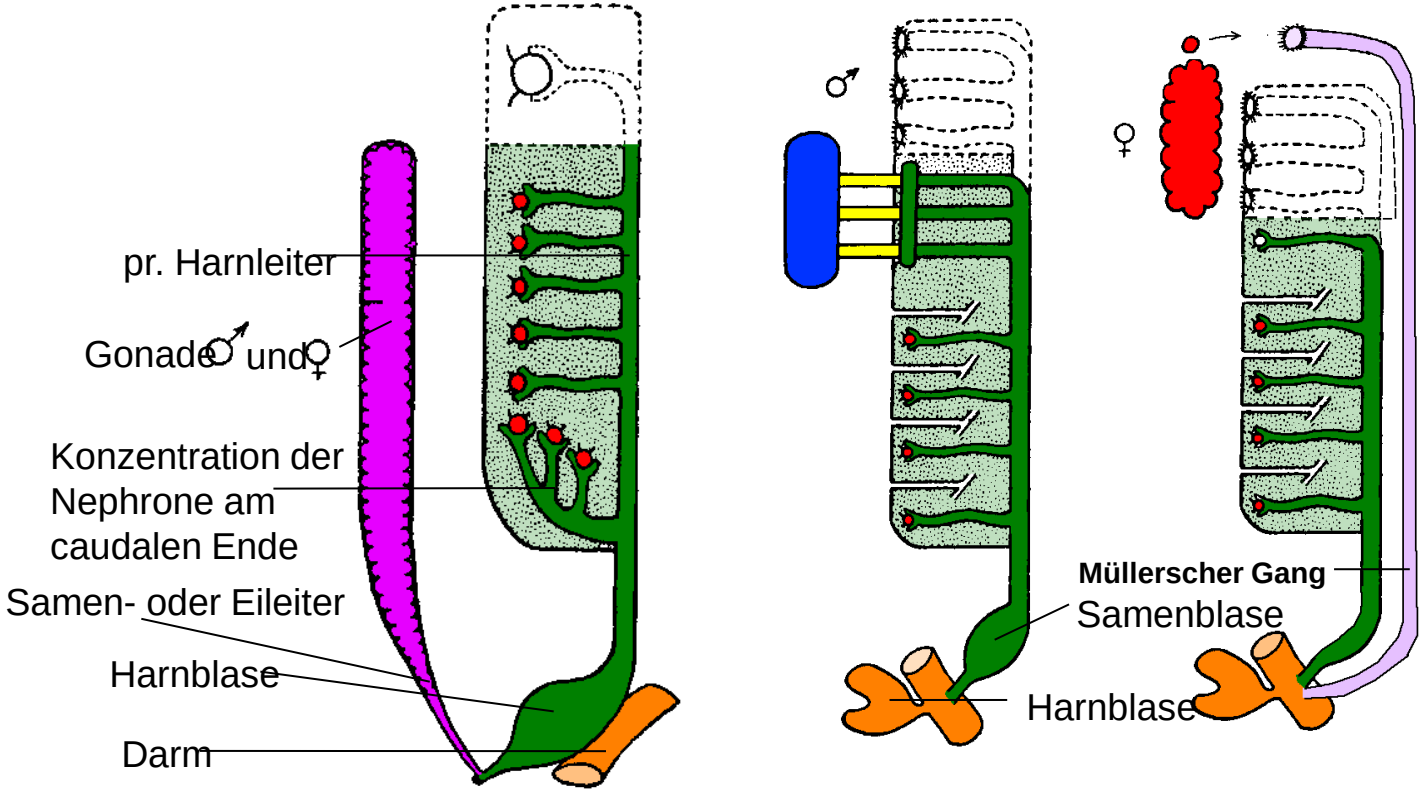
Der Magen der Vögel ist eine Fortentwicklung des Magens der Archosaurier;

Die frühere Ansicht, der Drüsenmagen sei eine Neuentwicklung der Vögel ist nicht haltbar



- **Der Verdauungstrakt der Vögel**
- **Bürzeldrüse**
- **Ovar rechts reduziert**

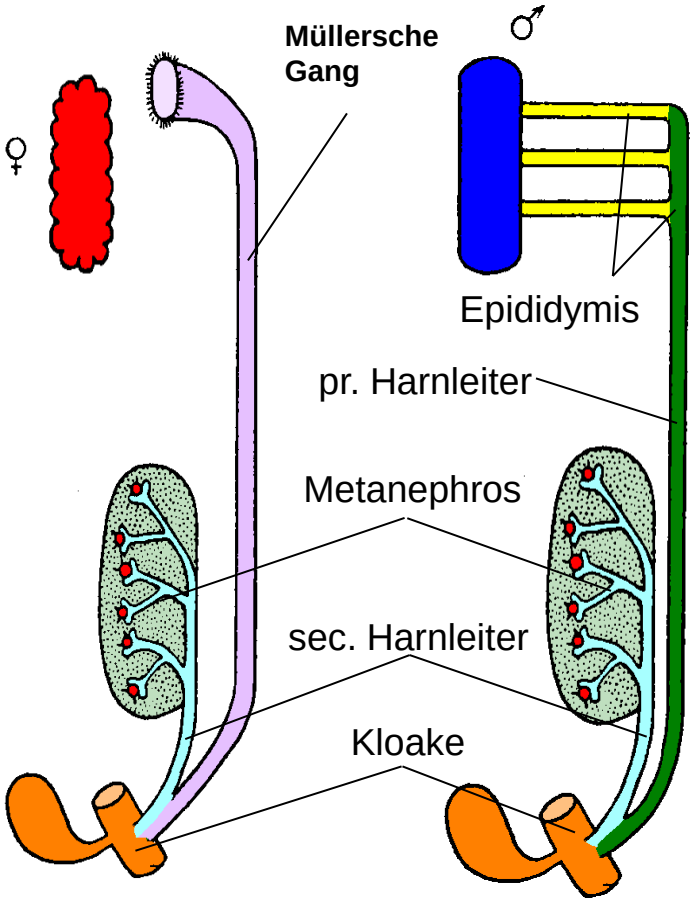
Die Verbindung zwischen Gonade und Niere im Wandel der Vertebratenentwicklung II



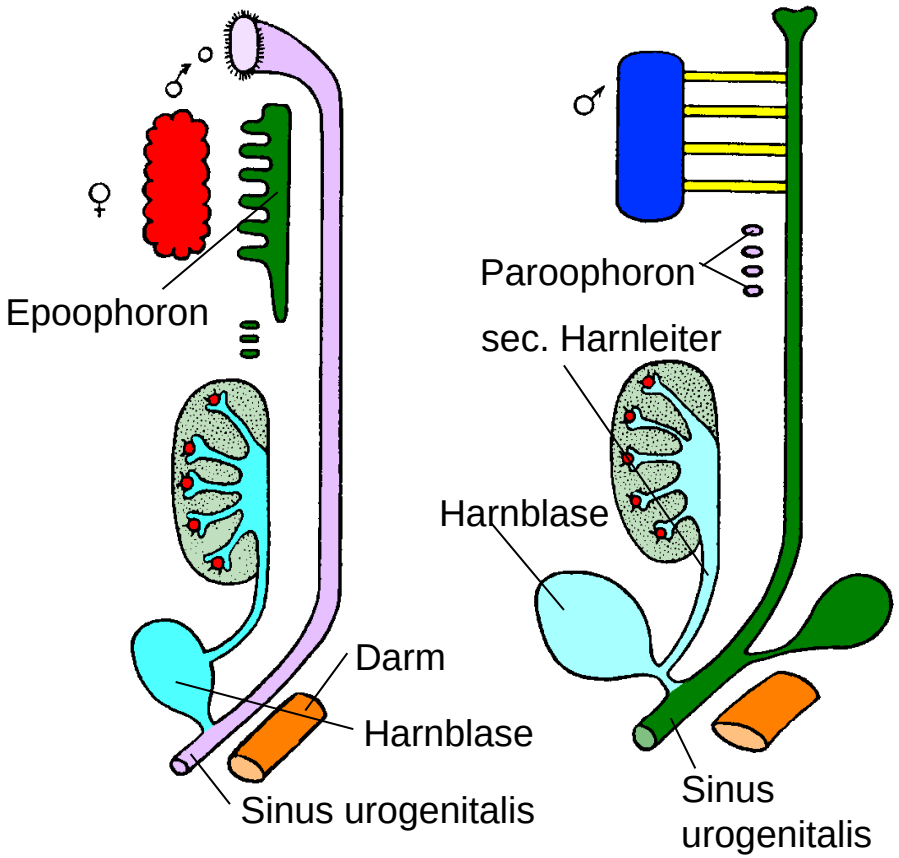
C Gonaden- Nieren-Beziehung bei Teleosteern

D Gonaden- Nieren-Beziehung bei Amphibien

Die Verbindung zwischen Gonade und Niere im Wandel der Vertebratenentwicklung III



E Gonaden- Nieren-Beziehung bei Reptilia und Vögeln



F Gonaden- Nieren-Beziehung bei Mammalia

- **Vergrößerung des Gehirns:**

In der Grundorganisation entspricht das Vogelhirn dem der Archosaurier. Gegenüber den Reptilien nimmt das Gehirn der Vögel bei entsprechendem Körpergewicht jedoch etwa **um das 10fache an Größe** zu.

Insbesondere werden vergrößert die Integrationsorte

- im **Tectum opticum** - optische Orientierung: das vergrößerte Auge ist bei weitem das wichtigste Sinnesorgan;
- im **Cerebellum** (Bewegungskoordination) und
- im **Telencephalon**.

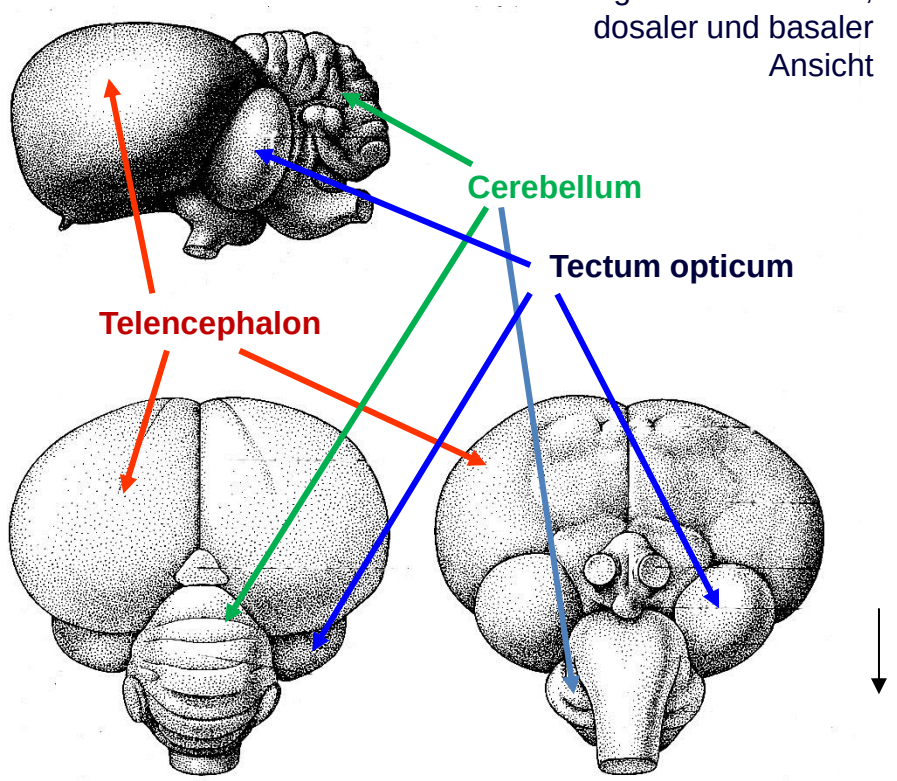
Anders als bei Säugern wird nicht der Hirnmantel (Pallium) vergrößert (er wird sogar reduziert), sondern die **Basalganglien**.

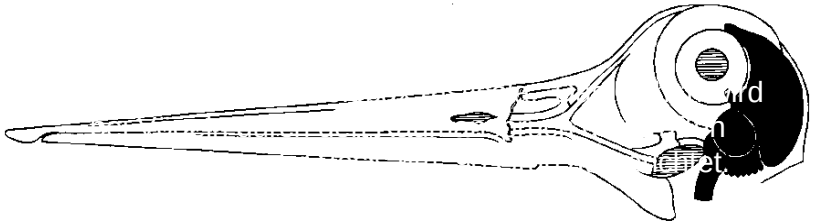
Bei diesen kommt es zur Entwicklung **von für Vögel typischen Strukturen:**

- Hyperstriatum ventrale, Ectostriatum, Neostriatum. Dieses scheinen die Orte der Integration der komplexen Verhaltensweisen der Vögel zu sein.

Von der Hirnoberfläche lassen sich keine motorischen Reaktionen auslösen, und es enden dort auch keine sensorischen Fasern.

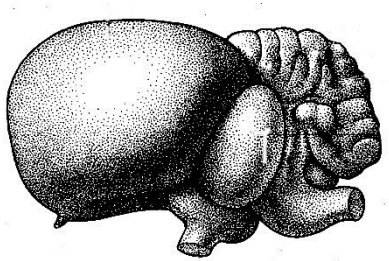
Vogelhirn in lateraler, dosaler und basaler Ansicht





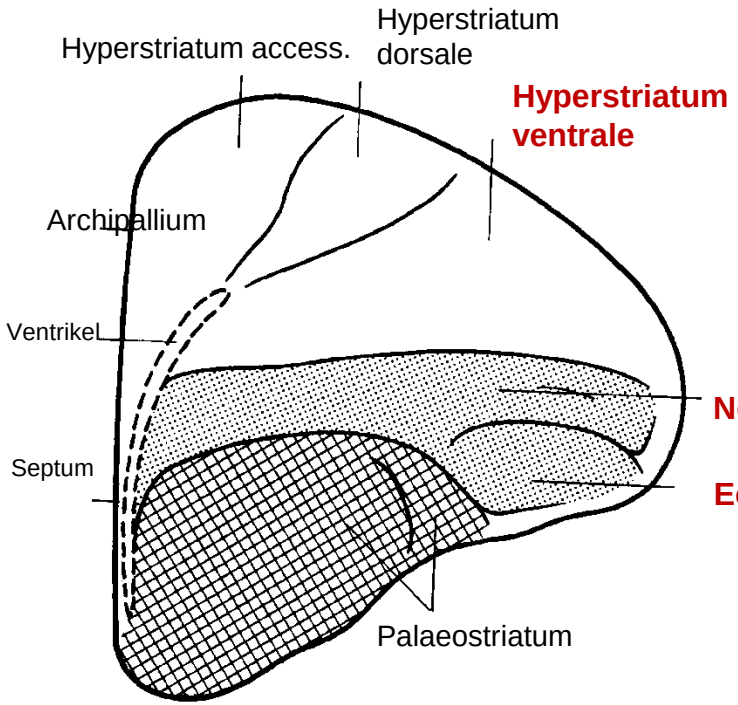
- **Gehirn: Entwicklung der Basalganglien**

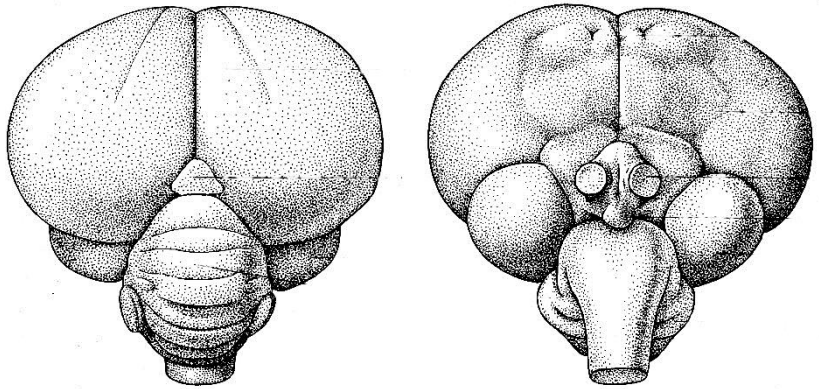
Telencephalon: Bei Vögeln erfahren die Basalganglien eine besondere Entwicklung; es kommt zur Ausbildung von typischen Strukturen: Hyperstriatum ventrale, Ectostriatum, Neostriatum. Dieses sind offenbar die Orte der Integration der komplexen Verhaltensweisen der Vögel zu sein.



Vogelhirn in lateraler, dosaler und basaler Ansicht

- **Geruchsorgan & olfaktorische Hirnteile reduziert**





Querschnitt durch eine Hemisphäre des Telencephalons eines Vogels mit den Differenzierungen der Basalganglien

Aves

- **Apomorphe Merkmale**
  - Flugfedern
  - Sternum
  - Furcula (Y-förmig verwachsene Schlüsselbeine)
  - verlängerte Vordergliedmaßen
  - partielle Verschmelzung der distalen Tarsalia mit Metatasalia (Tarsusmetatarsus)
  - Fusion der Metatarsalia proximal (Tibiotarsus)
  - vollständig umgedrehter Hallux (Z I)
  - keine Zähne (ohne Kronensägung)
  - reduzierte Körpergröße

Mammalia

Feature

MAMMAL HALLMARKS

A raft of extraordinary fossil finds is revealing details of how mammals evolved from reptilian forebears more than 178 million years ago. Discoveries in the past two decades show that early mammals were a diverse bunch, with sophisticated skills such as gliding and burrowing that researchers thought evolved only later. Many of the features that define mammals – like suckling milk, exceptional hearing and small litter sizes – had already appeared by the time true mammals were roaming the land, rivers and skies.

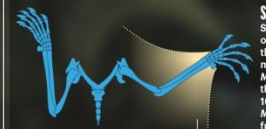
By John Pickrell
Illustration by Davide Bonadonna
Design by Wes Fernandes

WALKING WITH DINOSAURS

Early mammals like this rat-sized species *Liaoconodon hui* coexisted with feathered dinosaurs like *Sinotyrannus* in the temperate ecosystems of the Cretaceous in what is now Liaoning in northern China.

GALLERY OF TALENTS

Many archetypal mammalian features evolved in a short burst early in mammal evolution, including innovations in movement, development and diet.

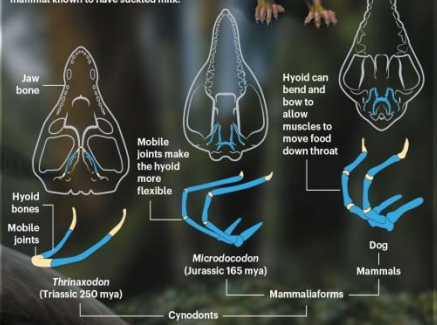


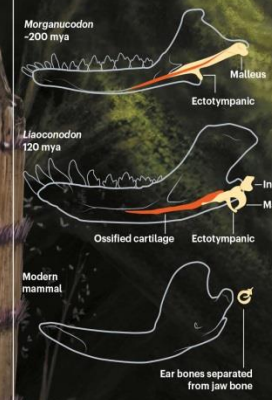
SKY GLIDERS

Several modern mammals glide on wings of stretched skin, but the exquisitely preserved furry membranes of Jurassic-era *Maiopatagium furculiferum* revealed that this ability evolved early, by 160 million years ago. Squirrel-sized *Maiopatagium* probably feasted on fruit, but other gliders from the same period had teeth more suited to seeds.

SUCKLING AND SWALLOWING

All mammals nourish their young with milk, and to do this, the juveniles require a special bone in their throats to suckle and swallow. *Microdocodon gracilis* from the Jurassic has a form of this hyoid bone that resembles that of modern mammals and is the earliest mammal known to have suckled milk.





JAW BECOMES EAR

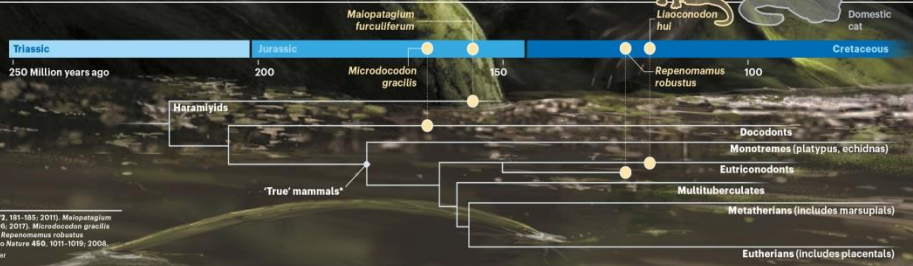
Mammals have three middle ear bones – the malleus, incus and ectotympanic bone (yellow) – responsible for their fine hearing. In reptiles and the ancestors of mammals, these bones formed part of the jaw and helped to process food. When researchers reported *Liaoconodon hui* in 2011 (main picture), they realized it represented a transitional state: a piece of hardened cartilage in the jaw (orange) supported some of the bones and the eardrum.

GREAT AND SMALL

Early mammals came in a wide assortment of shapes and sizes, from the badger-sized *Repenomamus* (pictured right) and groundhog-like *Vintana*; to *Liaoconodon* (main picture), about the size of a rat; and tiny vole-like *Microdocodon* (pictured right).

DEBATABLE DYNASTY

Researchers disagree about the shape of the mammal family tree, which species fall in or out of it, and even where the tree begins. One view suggests that the earliest true mammals are 178 million years old; another argues that the oldest mammal dates from 208 million years ago. Many recent fossil finds represent long-extinct groups that branched off before the tree gave rise to the three groups of modern mammals.



Liaoconodon hui and evolution of the ear bones (J. Meng *et al. Nature* **472**, 181–185; 2011). *Maiopatagium furculiferum* and gliding mammals (Q.-J. Meng *et al. Nature* **548**, 291–296; 2017). *Microdocodon gracilis* hyoid bone and suckling (C. F. Zhou *et al. Science* **285**, 276–279; 2005). *Repenomamus robustus* (Y. Hu *et al. Nature* **433**, 149–152; 2005). Timeline adapted from Z.-X. Luo *Nature* **450**, 1011–1019; 2008.
*Researchers do not know the exact timing of when lineages split from each other

DINOSAUR DINNER

Species like *Repenomamus robustus* from the Early Cretaceous challenge the typical stereotype of early mammals as diminutive insect-eating fluffballs. This creature was the size of a badger and a specimen found in 2005 had the bones of a baby dinosaur – a beaked, bipedal *Psittacosaurus* – in its stomach.

Nature | Vol 574 | 24 October 2019

Mammalia

- **Säuger-Evolution „aus dem Fegefeuer“**

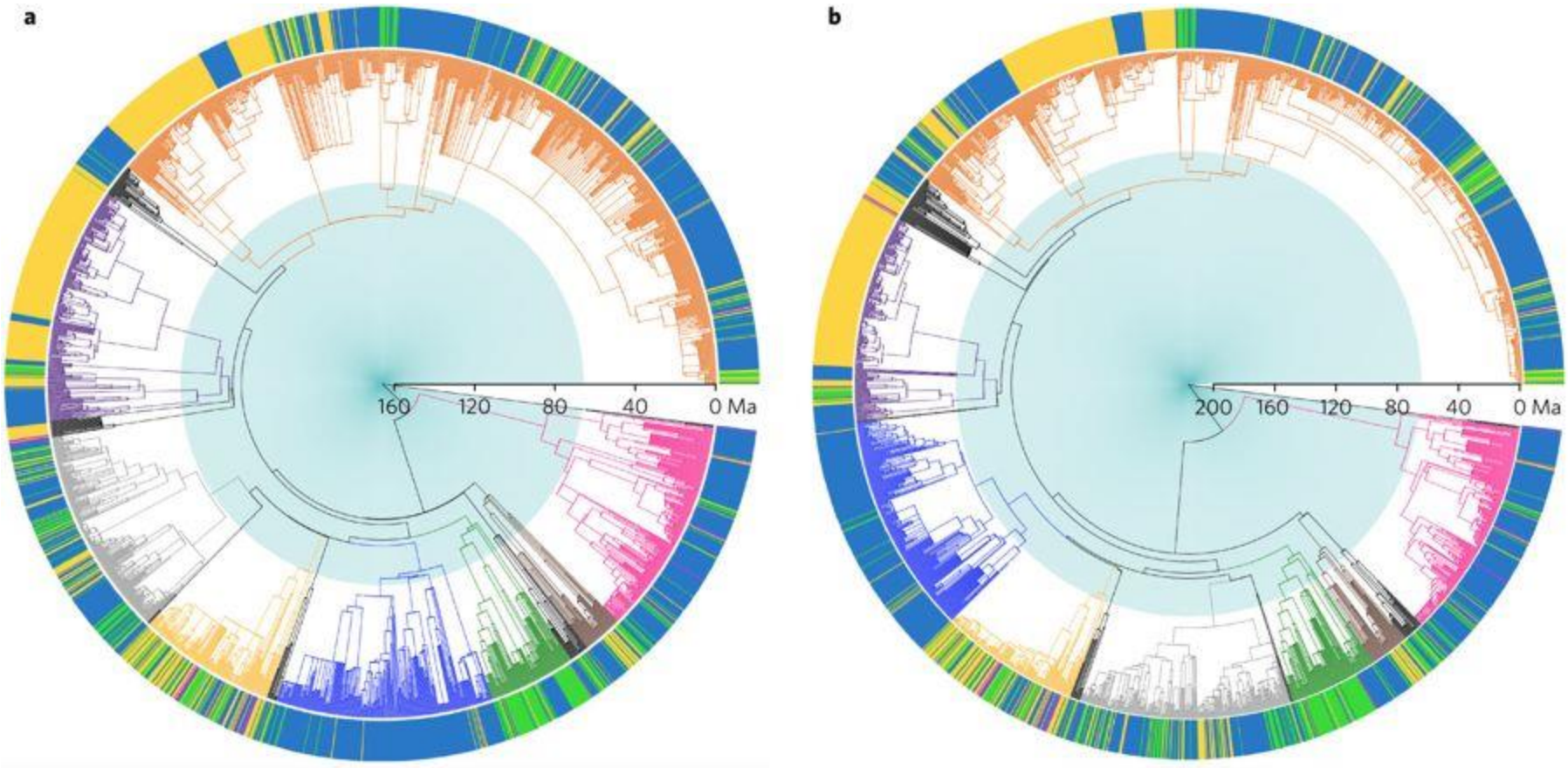
Illustration: P. Lynch / Yale University

***Purgatorius* = „*Der aus dem Fegefeuer*“**

- spielt auf die Katastrophe vor 66 Mio. Jahren an

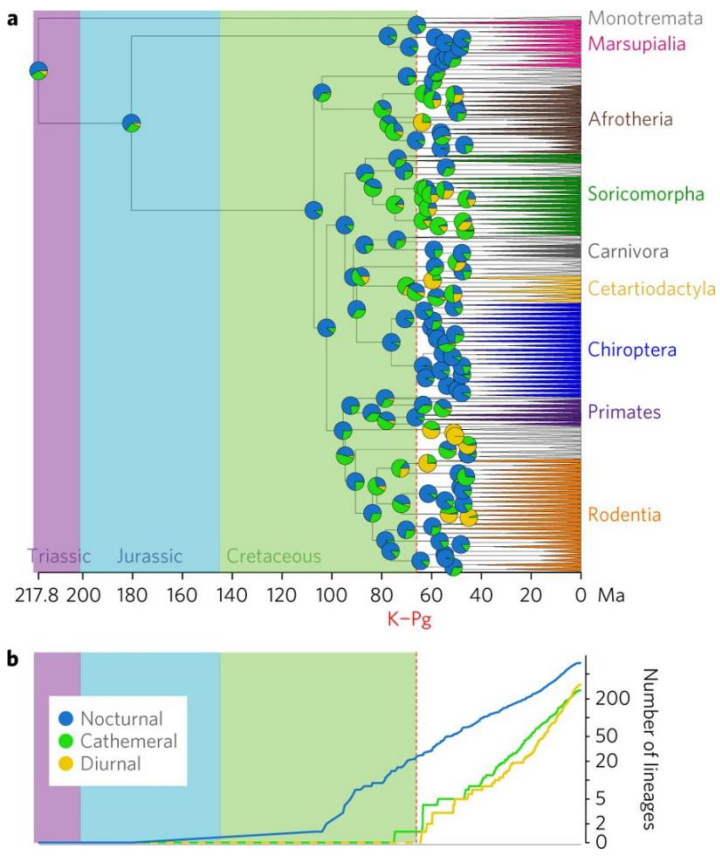
Activity pattern distributions across mammalian evolution

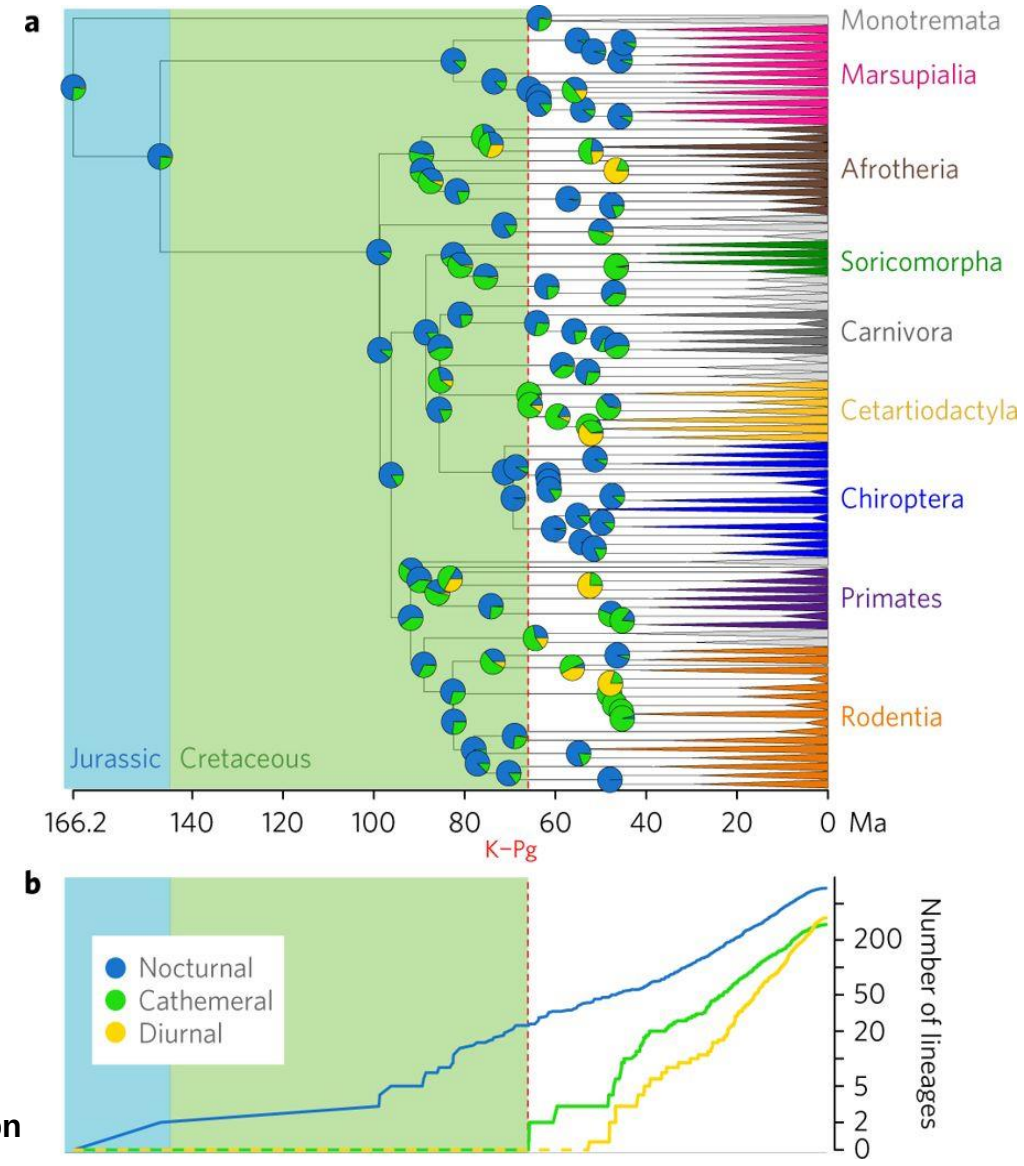
- **short fuse / long fuse phylogenies – Nachtnische (blau) der Säuger**



Roi Maor et al. 2017 – Nature Ecology & Evolution

Reconstruction of ancestral activity patterns and character accumulation across the LF hypothesis of mammalian evolution





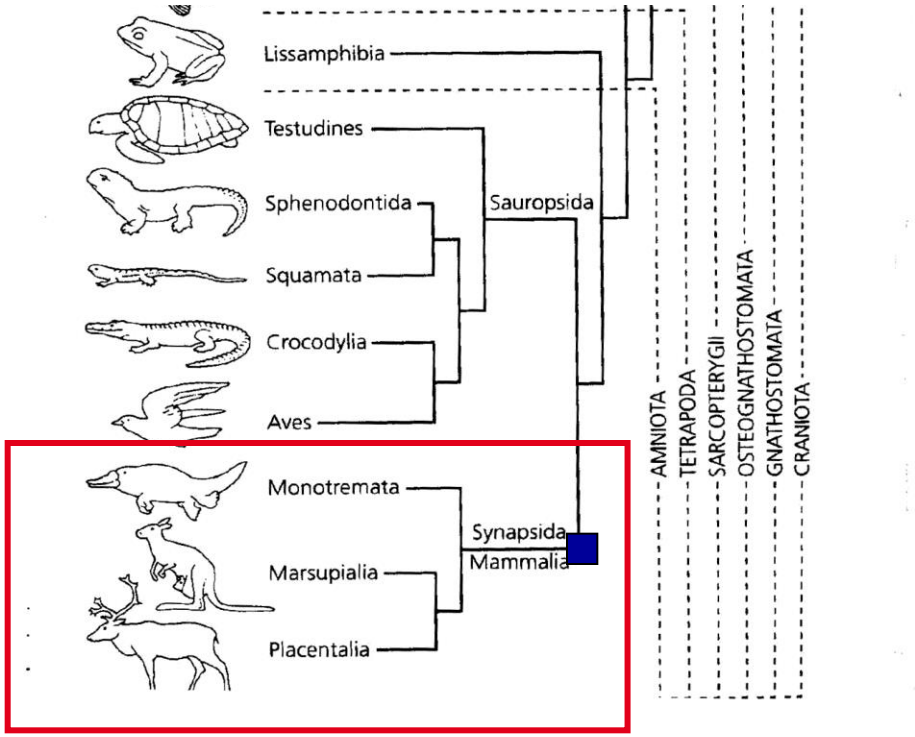
Roi Maor et al. (2017) - Nature Ecology & Evolution

Mammalia = Synapsida

- **synapsider Schädel**

- **im Vergleich zum**

  diapsiden Schädel der Sauropsida

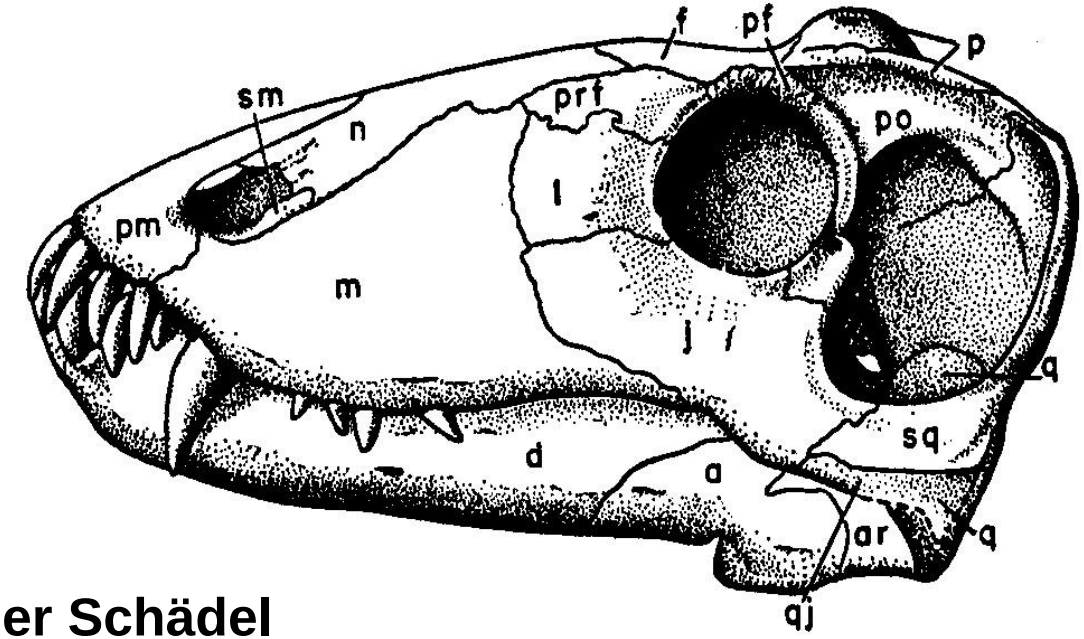


Mammalia

Synapsida

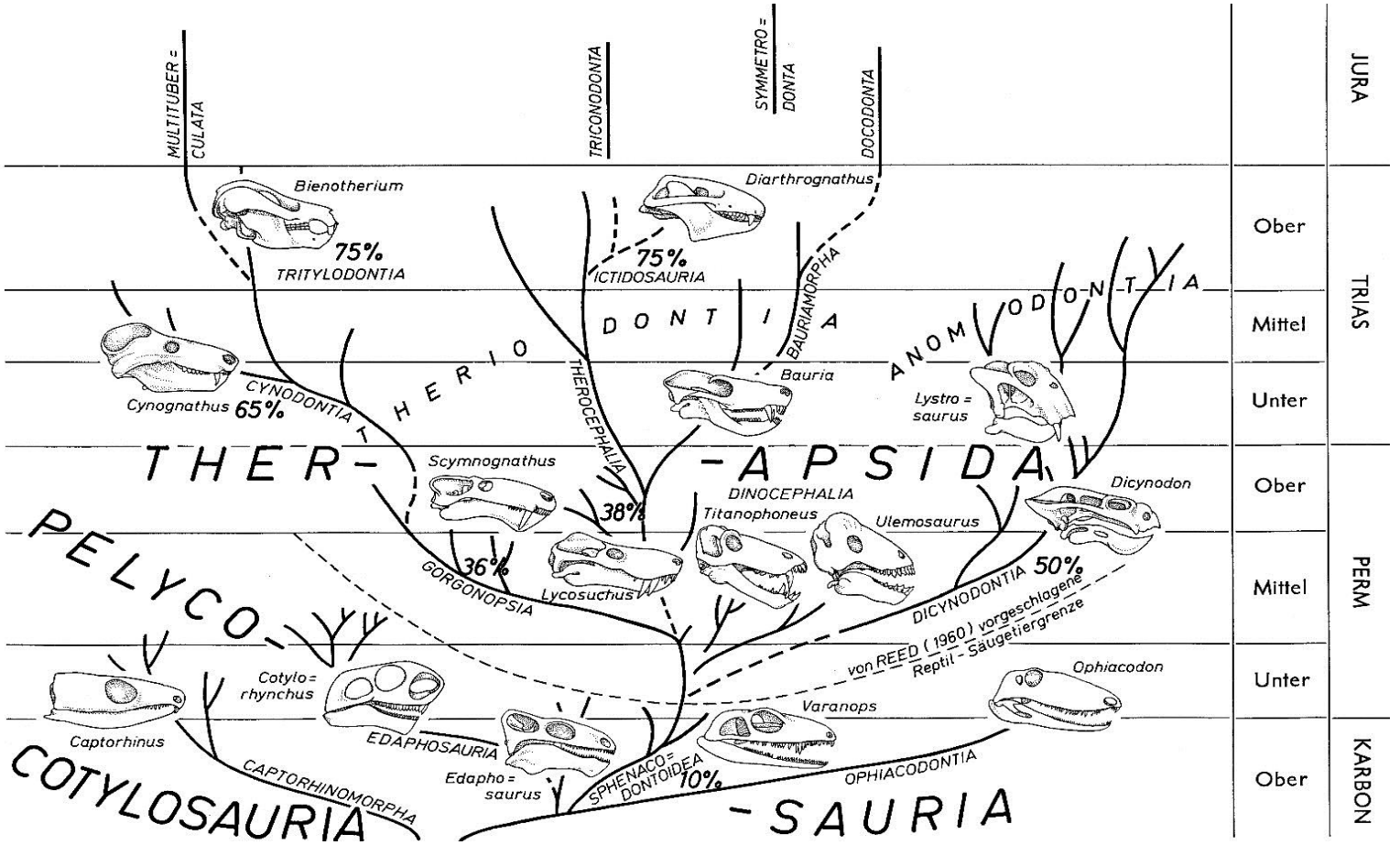
Mammalia = Synapsida

- Säugetiere im weiteren Sinne haben einen langen eigenständigen Entwicklungsweg hinter sich.
- Zur Stammgruppe der Säuger gehören die Pelycosaurier (Perm, 250 Mio.) und die säugertierähnlichen Reptilien, die Therapsida.
- (Synapsida mit 1 Schläfenöffnung, die unten von Jugale und Squamosum, oben von Squamosum und Postorbitale begrenzt wird; später geht das Postorbitale verloren und die Schläfenöffnung erweitert sich, so dass der Jochbogen bei den rezenten Säugern aus Jugale und Squamosum gebildet wird.



- **synapsider Schädel**

- **„Reptilien“-Säuger-Übergangsfeld**



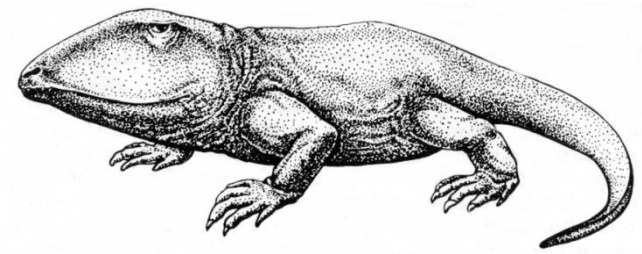
Im Reptilien-Säuger-Übergangsfeld kam es in verschiedenen Linien der Therapsida unabhängig von einander zur Entwicklung von Säugermerkmalen, am ausgeprägtesten bei den Tritylodontia und Ictidosauriern (nach Thenius).

- **Die Wurzeln der Säugetiere: „mammal-like“ reptiles**

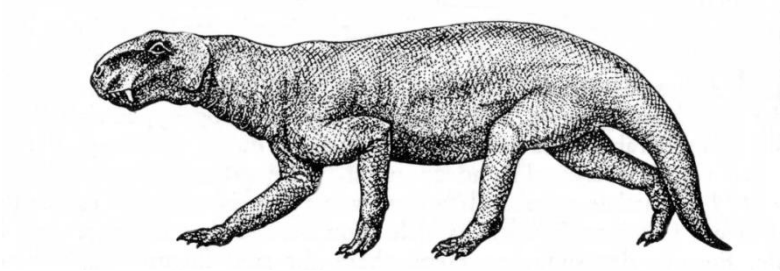
Die Mammalia wurzeln in der Gruppe der Pelycosauria, primitiven Formen des Karbon und Perm, die den Stammreptilien, den Cotylosauriern, noch ähnelten.

Sie besaßen bereits ein tiefliegendes Schläfenfenster, waren also synapsid.

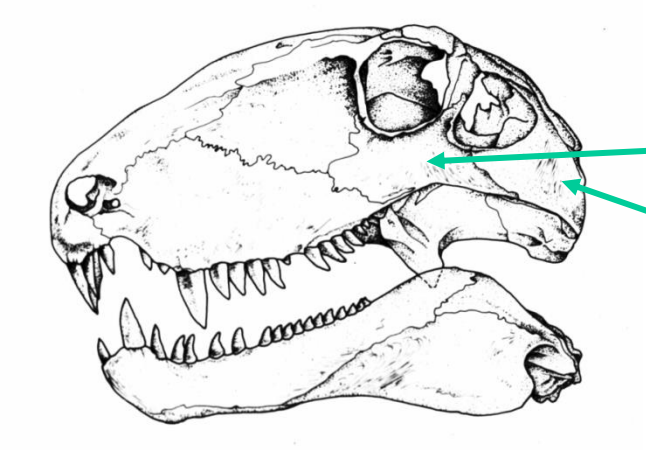
Hierher gehören Formen wie *Ophiacodon*, *Dimetrodon* und *Lycaenops*.



Ophiacodon, ein basaler Pelycosaurier aus dem unteren Perm Texas

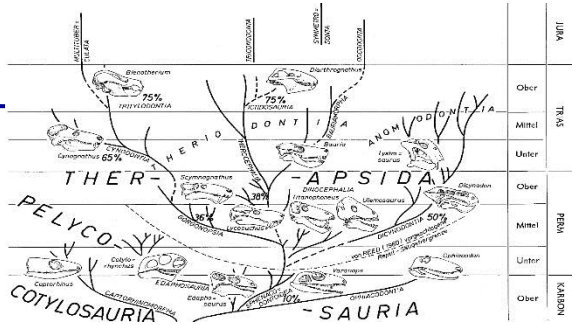


Lycaenops, spätes Perm Südafrika, fortschriftlicher Pelycosaurier mit säugerähnlicher Extremitätenstellung



Dimetrodon, Pelycosauria, mit synapsidem Schädel & tiefliegenden Jochbogen

Mammalia



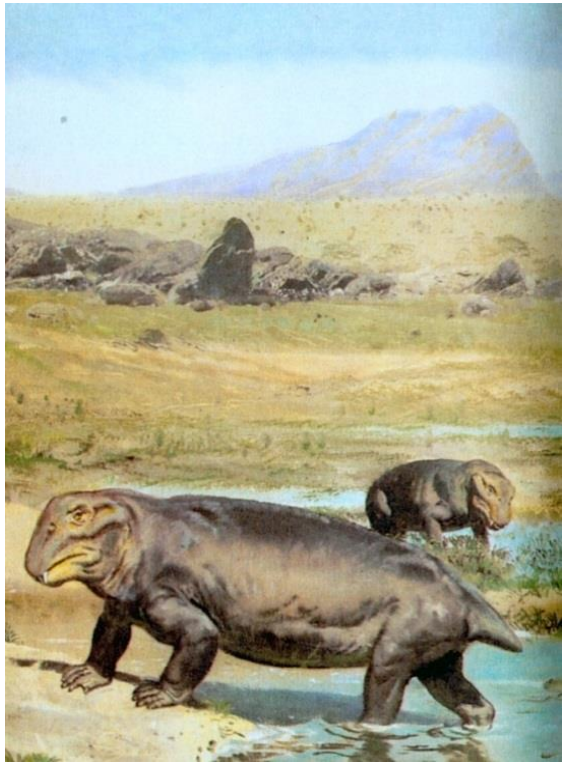
- **„mammal-like“ reptiles: Therapsida**

Unter den „mammal-like Reptiles“ waren die **Therapsida** die fortschrittlichsten.

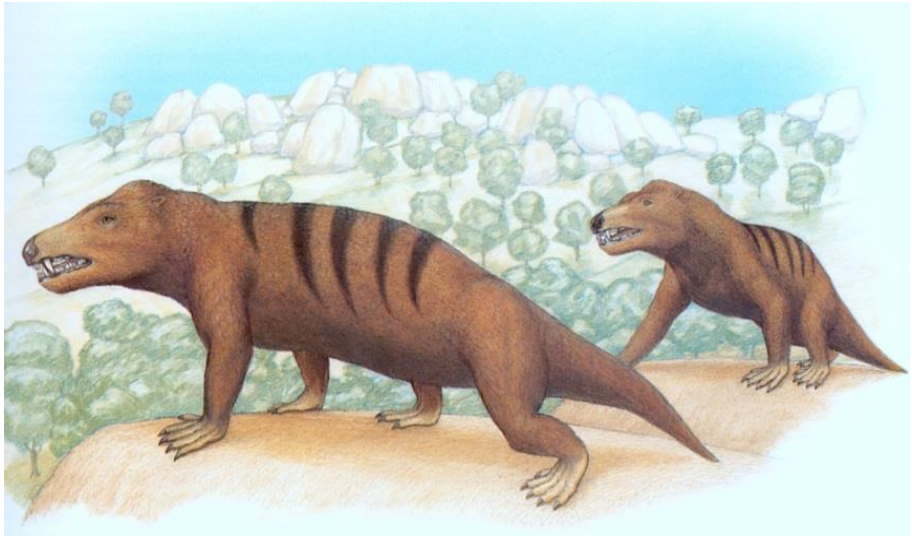
- kleinere, mittelgroße und große „Reptilien“, die im Habitus recht verschieden waren.
- im Perm und in der Trias gelebt; aus den kontinentalen Karroo-Ablagerungen Südafrikas bekannt

Eine frühe Radiation der Therapsida führte zu den carnivoren Theriodontia und den herbivoren Anomodontia.

In den Theriodontia wurzeln die mesozoischen Säuger und auch die Vorfahren der rezenten Mammalia.



***Lystrosaurus murrayi*,** ein pflanzenfressender Anomodontier, 80cm lang. Untertrias (230 Mill. Jahre) Südafrika, Antarktis. Möglicherweise halbamphibisch.



Cynognathus war ein fortschrittlicher Therapside, ebenfalls Untertrias, etwa dachsgroß. Er war carnivor und gehörte zu den Theriodontia. Gebiss und Skelett zeigten zahlreiche Säugermerkmale.

Amniota – hier: Säugetiere

- **Mammalia**

„mamma“ = lat. Brust, Zitze

Sauropsida

saúos, gr. = Echse; opsis, gr. Aussehen

„Reptilia“ und Aves

Amniota

amnós, gr. = das Schaf; ámnion gr. Schafhaut;

1. **Amnionbildung**
2. **Harte Eischale**
3. **Dotterreiche Eier**
4. **Meroblastische Furchung**
5. **Wegfall der Metamorphose**
6. **Embryonale Umbildung der Harnblase**
7. **Zwei oder mehr Halswirbel**
8. **Reduktion der Carpalia und Tarsalia (Sprungbein-bildung)**
9. **Ausbildung von Krallen**

Mammalia
(rezente Synapsida)

Übersicht einiger wichtiger Apomorphien

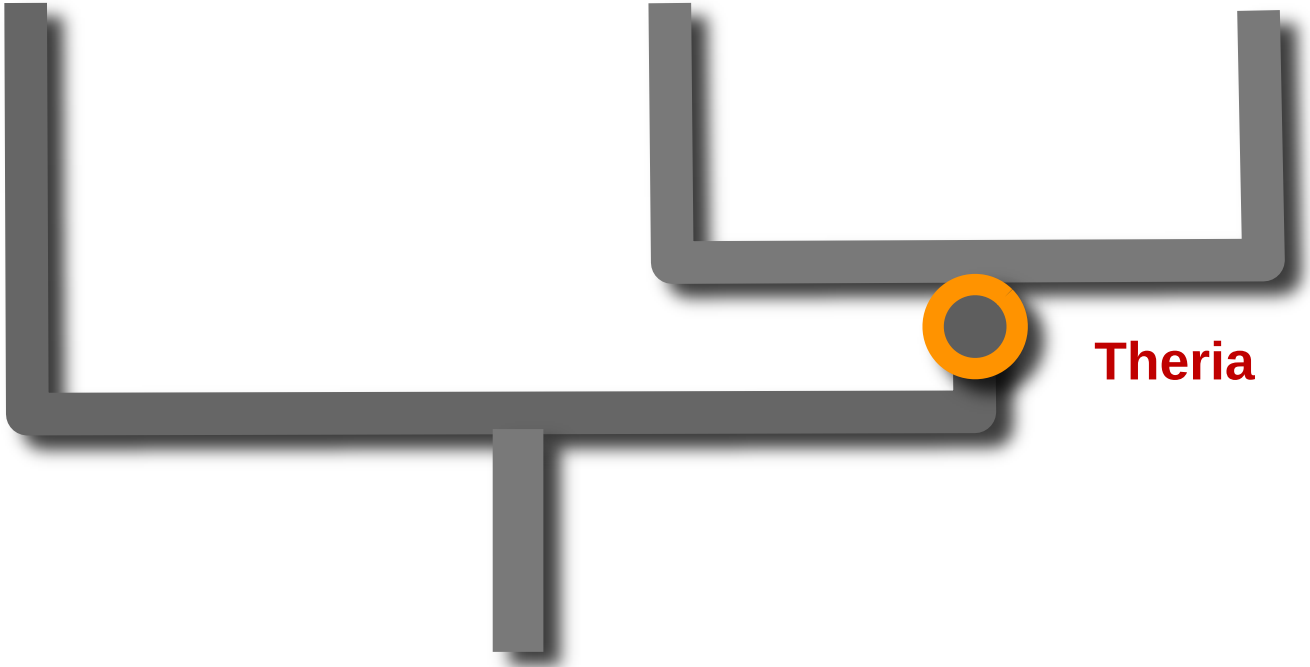
1. **Milchdrüsen**
2. **Haarkleid**
3. **Sek. Kiefergelenk**
4. **Quadratum & Articulare zu Gehörknöchelchen**
5. **Knochenepiphysen**
6. **Drüsenreiche Haut**
7. **Heterodontie**
8. **Einmaliger Zahnwechsel**
9. **Homoiothermie**
10. **Regionale Differenzierung der Wirbelsäule**
11. **Einrollen der Lagena**
12. **Differenzierung des Telencephalons**
13. **Kein Nieren/Pfortader-System**
14. **Sek. Gaumen**
15. **Extremitäten unter dem Körper**

Mammalia (Säugetiere)

Monotremata (Kloakentiere)

Eutheria (Placentatiere)

Marsupialia (Beuteltiere)

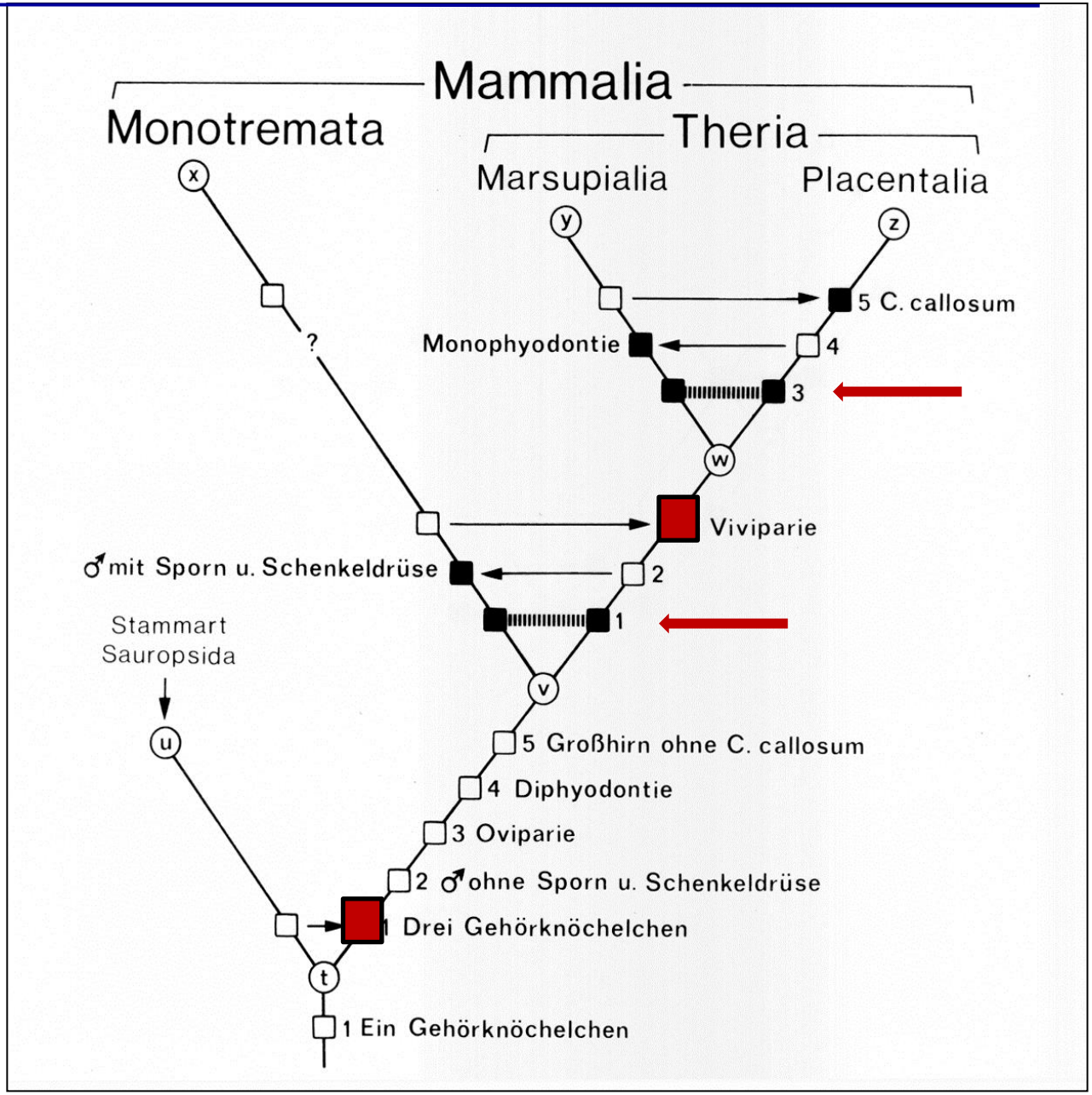


Phylogenie der Mammalia

- **Fallstudie zur Merkmalsbewertung**

- **Ovo- / Viviparie**

- **Gehörknöchelchen**



Mammalia

- **Monotremata (Kloakentiere)**

Zaglossus bruijni

Mammalia

- **Monotremata (Kloakentiere)**

Tachyglossus aculeatus

Mammalia

- **Monotremata (Kloakentiere)**

Ornithorhynchus anatinus

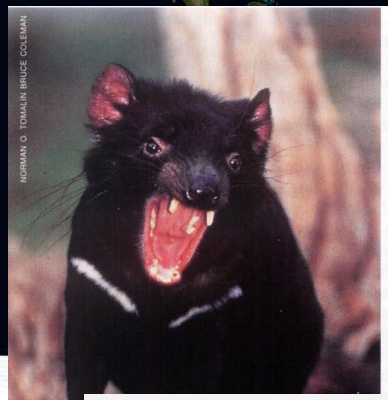
Mammalia

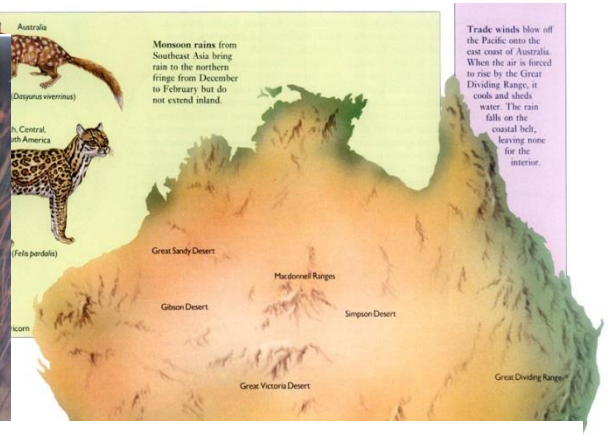
- **Monotremata (Kloakentiere)**

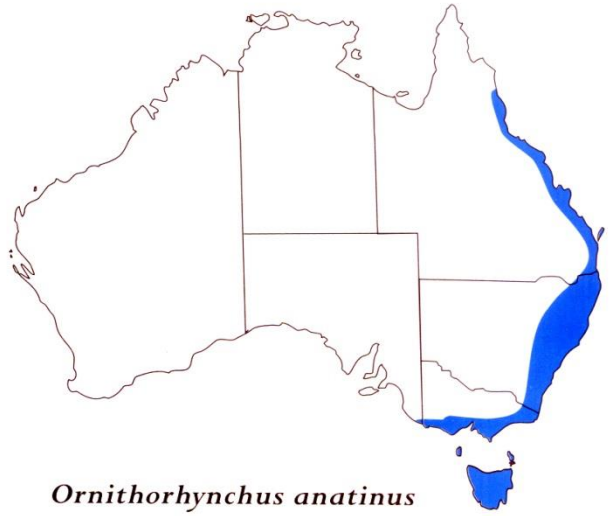
Australien – „a world of the weird and wonderful“

„A disbeliever in everything beyond his own reason, might exclaim, ‚Surely two distinct Creators must have been at work‘.“

Charles Darwin (1836), *Diary*



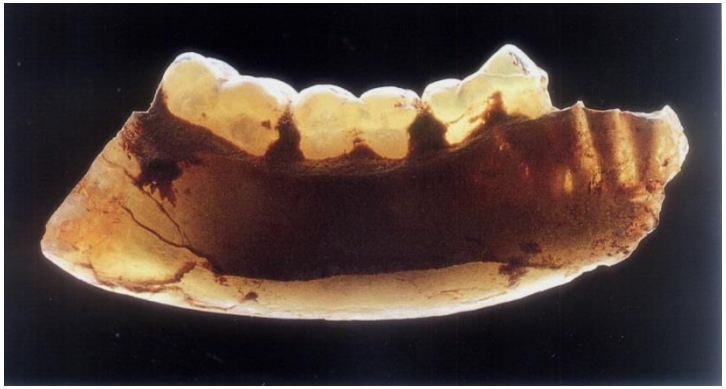

Australia
Monsoon rains from Southeast Asia bring rain to the northern fringe from December to February but do not extend inland.
Trade winds blow off the Pacific onto the east coast of Australia. When the air is forced to rise by the Great Dividing Range, it cools and sheds water. The rain falls on the coastal belt, leaving none for the interior.
Great Sandy Desert
Macdonnell Ranges
Gibson Desert
Simpson Desert
Great Victoria Desert
Great Dividing Range



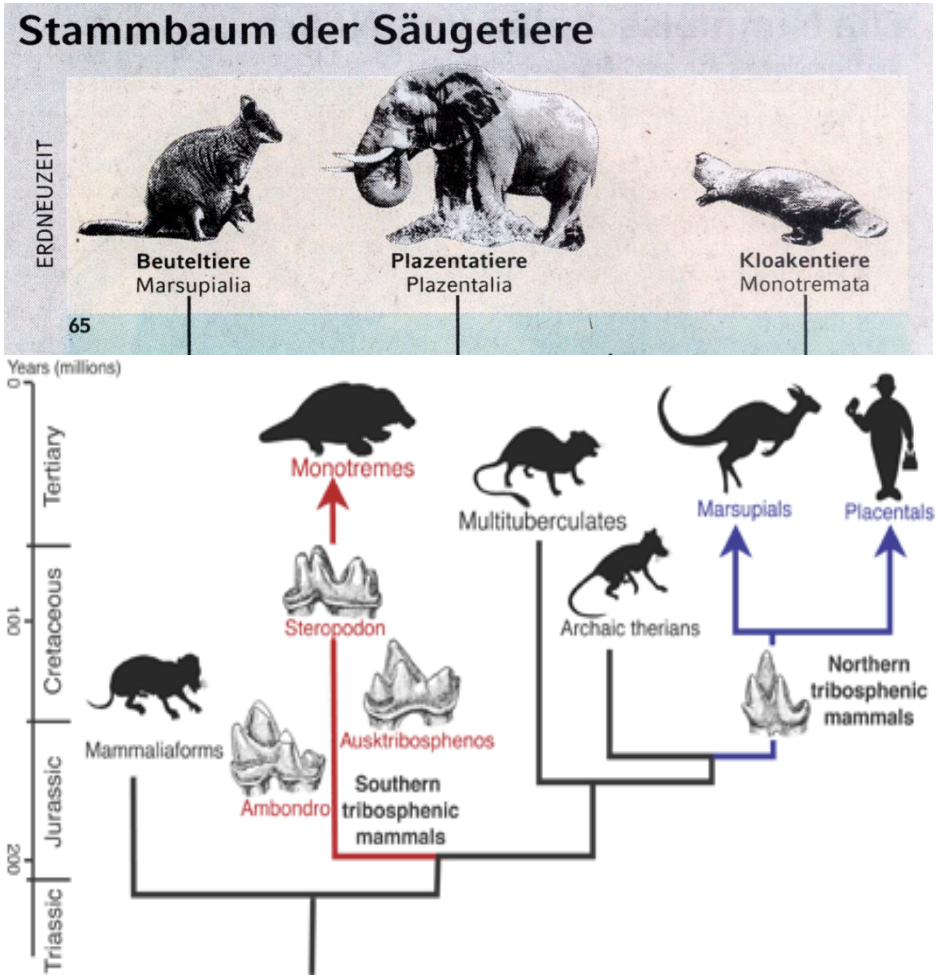
Monotremata und Marsupialia

The skull of the Riversleigh *Obdurodon* (left) compared with the skull of a modern Platypus showing the teeth and larger, more generalised snout of the extinct form.
Obdurodon dicksoni skull as it appeared when finally freed from the limestone of Ringtail Site. A distinctive bone at the end of the snout is now understood to be a holdover from the ancient mammal-like reptiles.

***Obdurodon dicksoni* – 15 myr**
Riversleigh, QLD (1984)

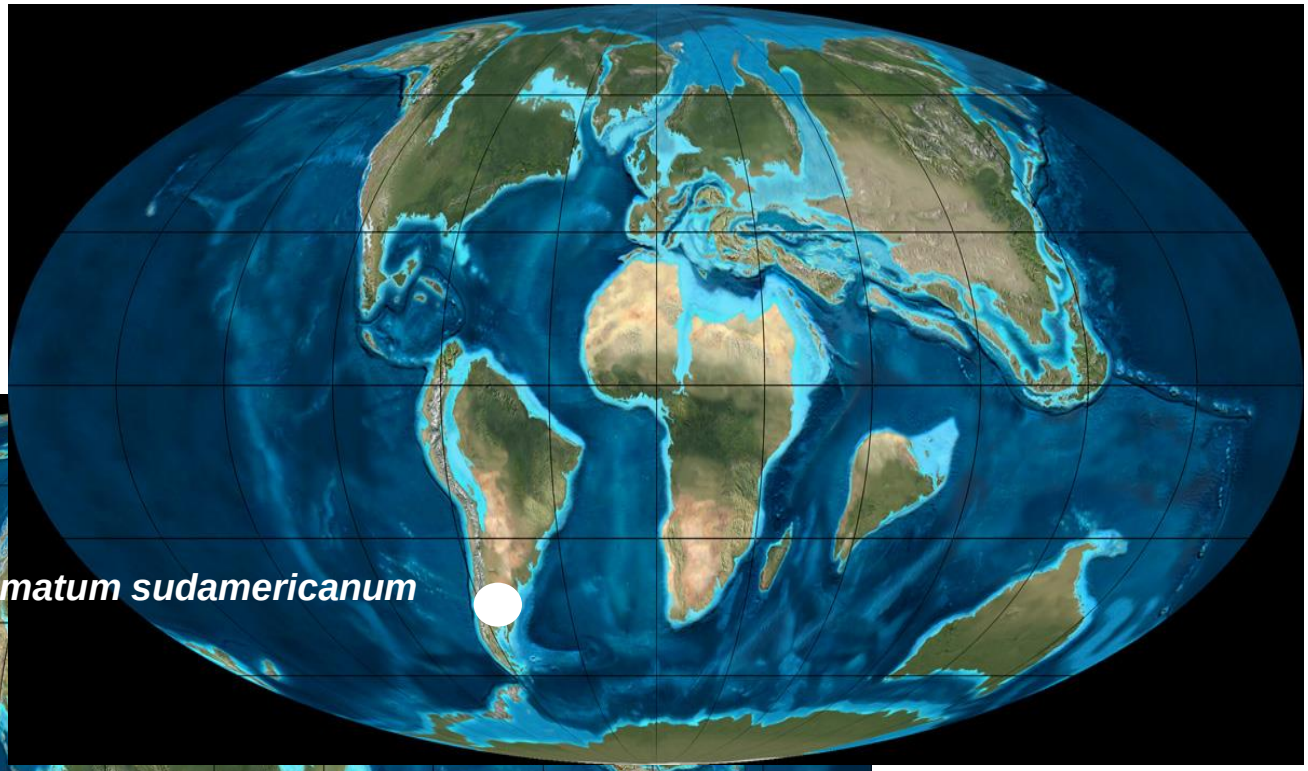


***Steropodon galmani* – 120 myr**
Lightning Ridge, NSW (1982) - opalisiert

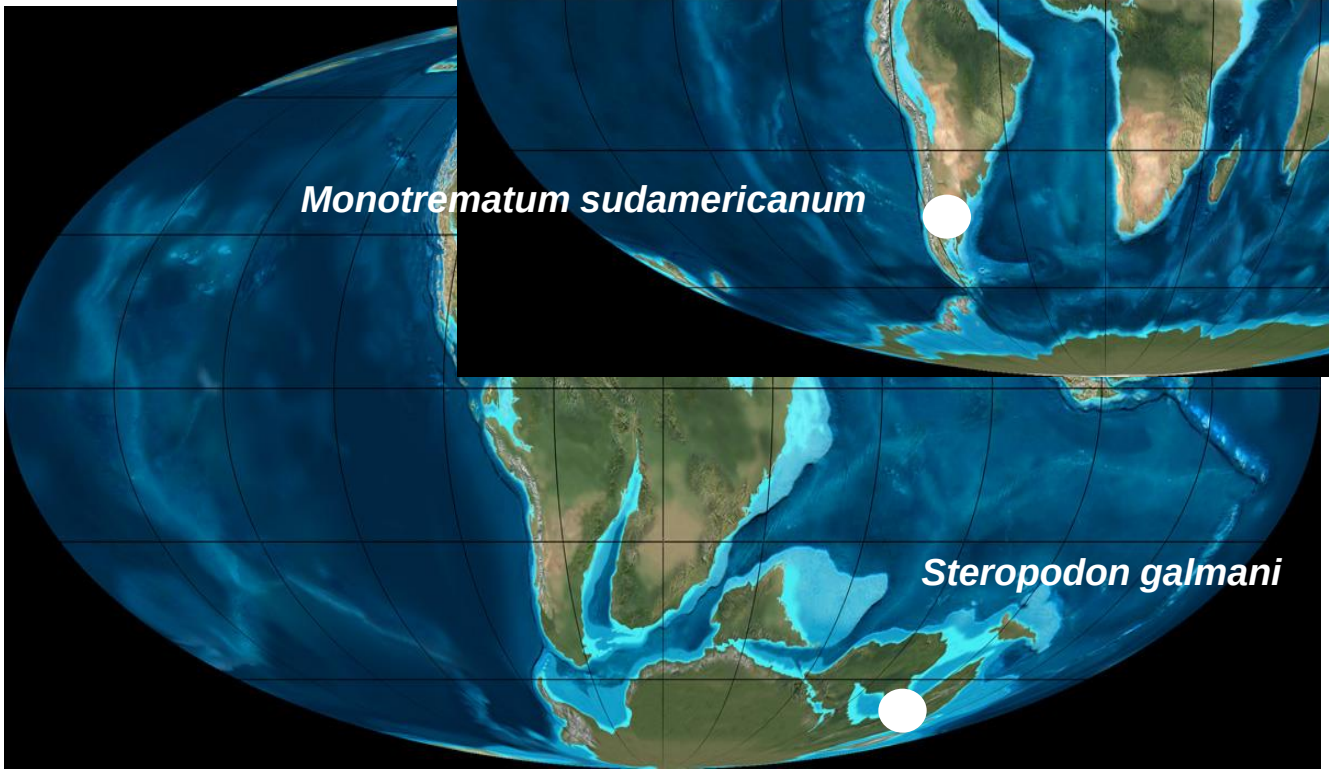


Paläobiogeographie der Monotremata

- **alte Evolutionslinie**
- **Gondwana-Verbreitung & Vikarianz**



61-63 ma



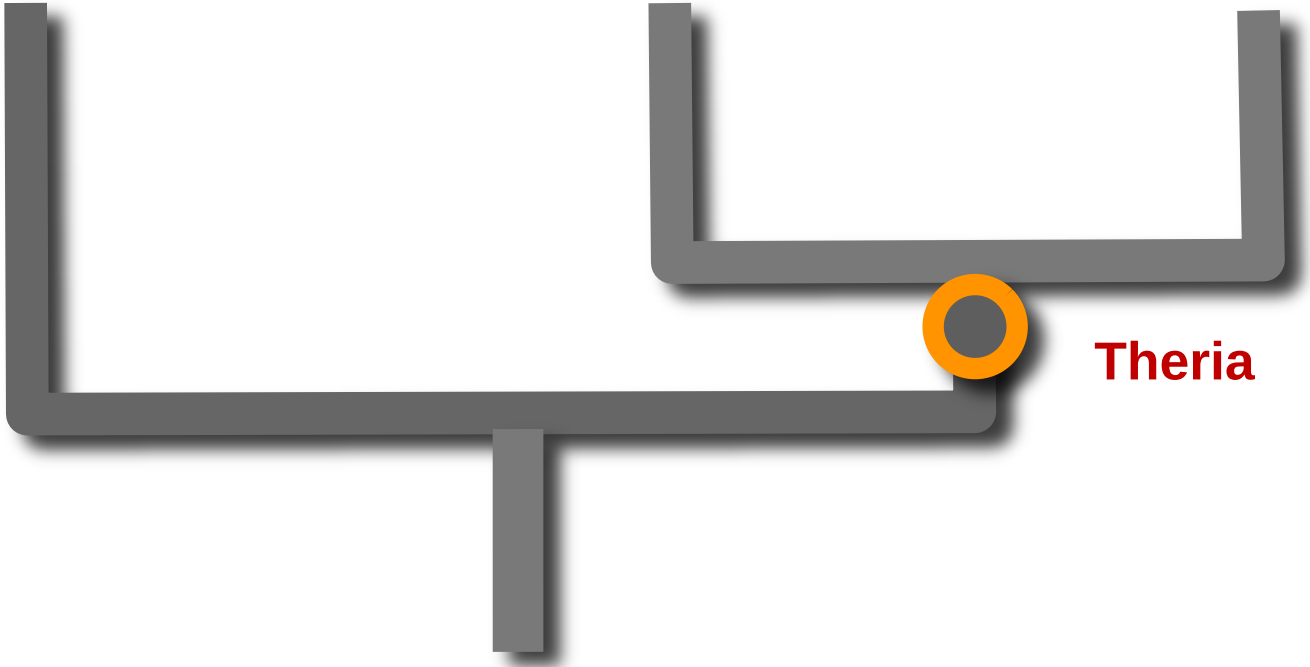
120 ma

Mammalia (Säugetiere)

Monotremata (Kloakentiere)

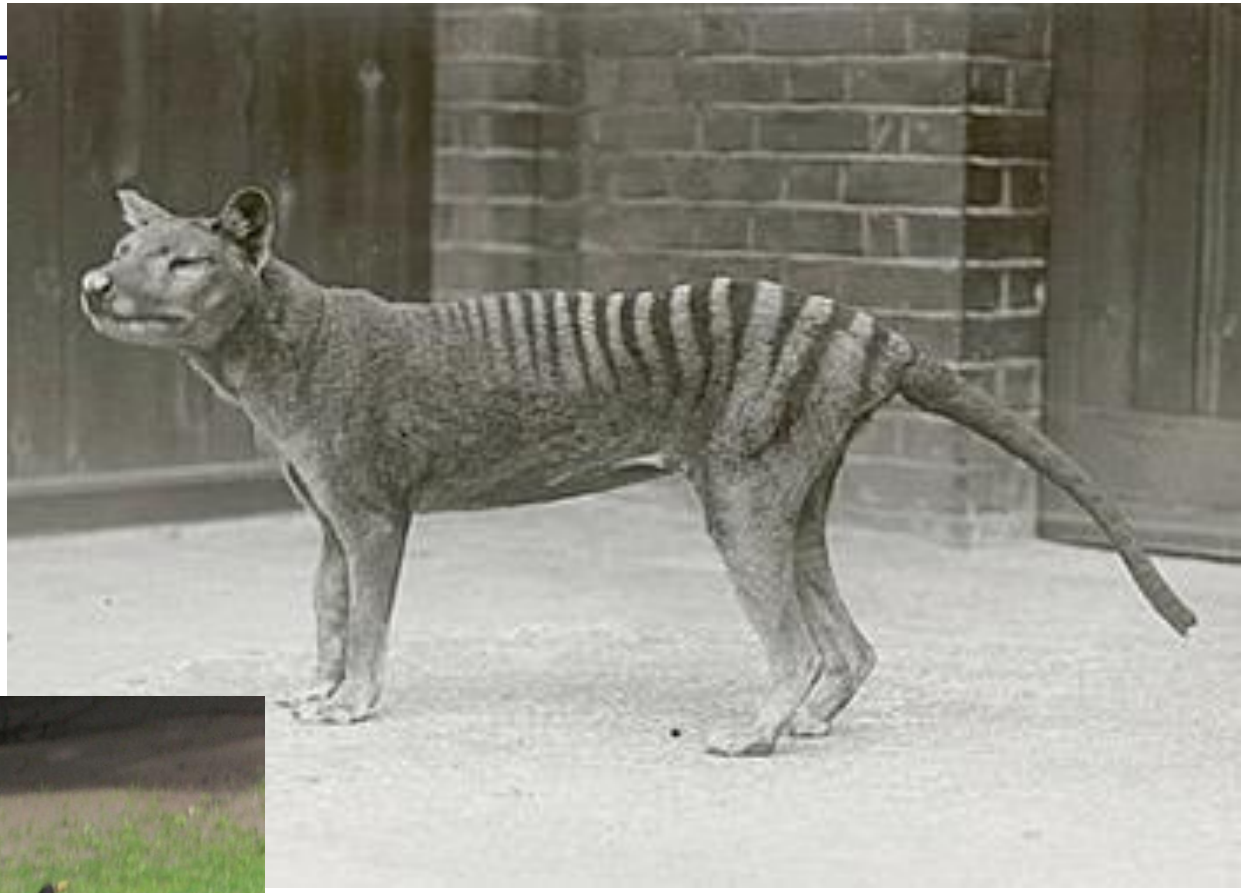
Eutheria (Placentatiere)

Marsupialia (Beuteltiere)



Mammalia

- **Marsupialia**



Thylacinus cynocephalus †1936

Rotes Riesenkänguruh

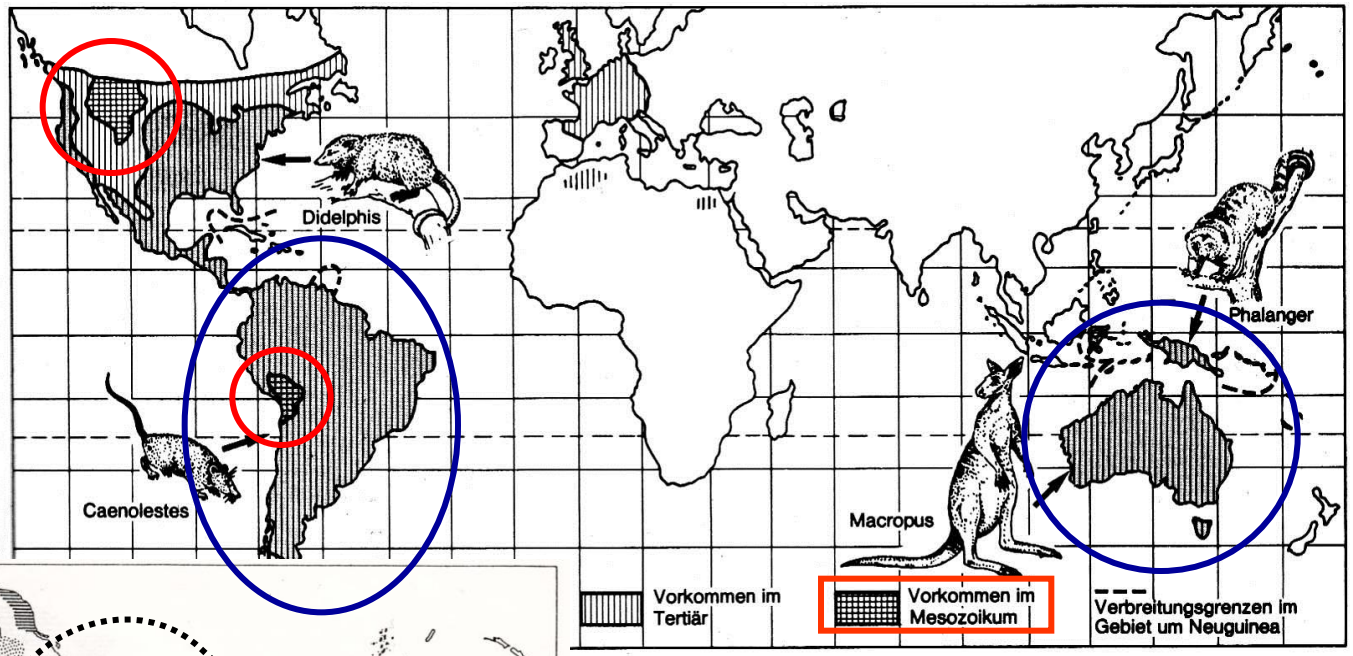
- **Marsupialia – Reproduktion**

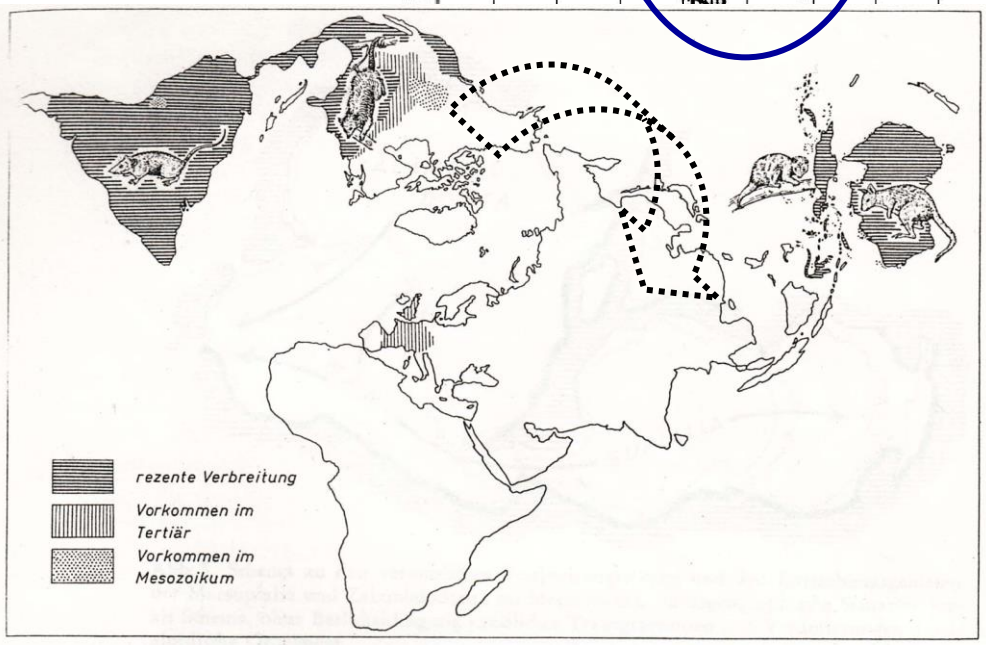
Marsupialia, Fortpflanzungsbiologie

Marsupialia, Fortpflanzungsbiologie

Biogeographie der Beuteltiere

- **AS-Verbreitung**



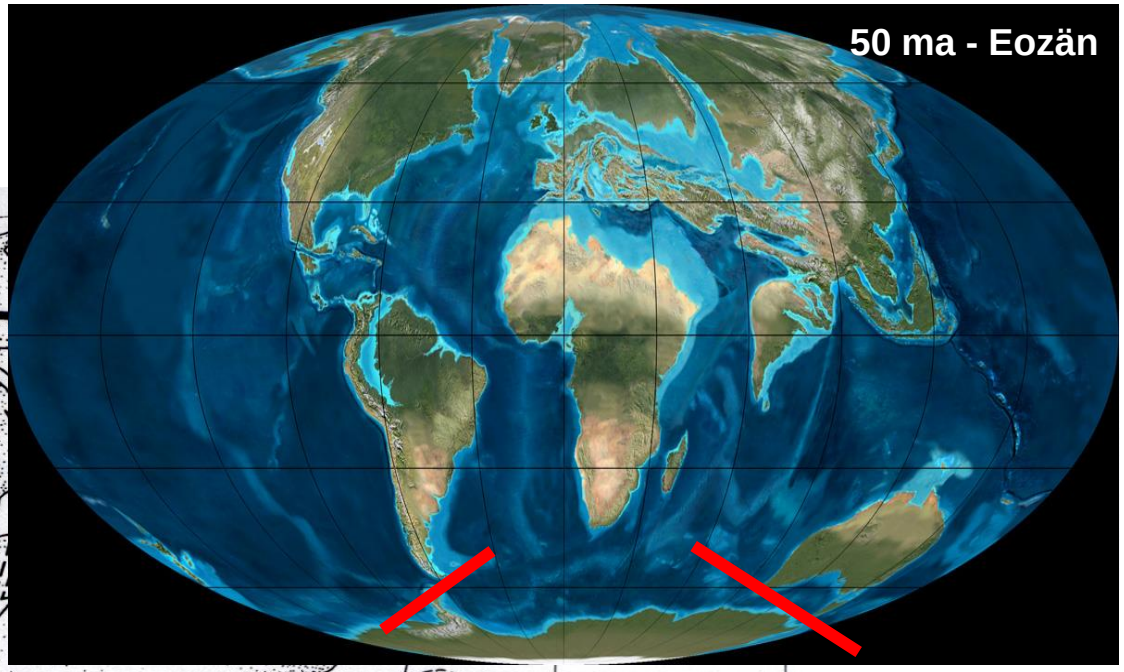


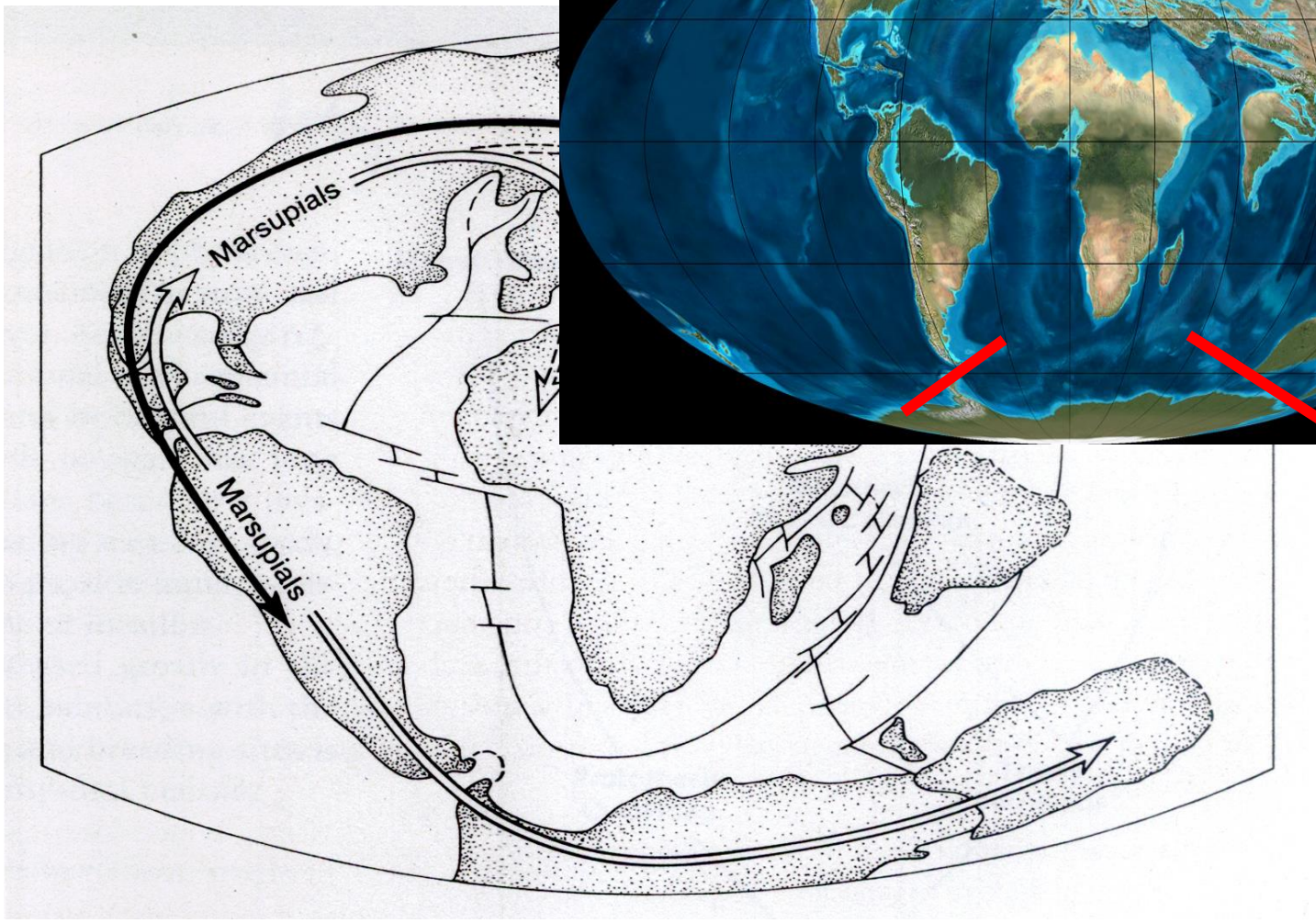
- **Landbrücken - Migration im Tertiär ?**
  via Ostasien – Route (Simpson 1961)
  - Aber: Fehlen von Fossilien dort !

- **Gondwana - Vikarianz**
  via Transantarktis – Route (Thenius 1981, 1984)

Paläobiogeographie der Marsupialia

- **Trans-Antarktische Verbreitung**





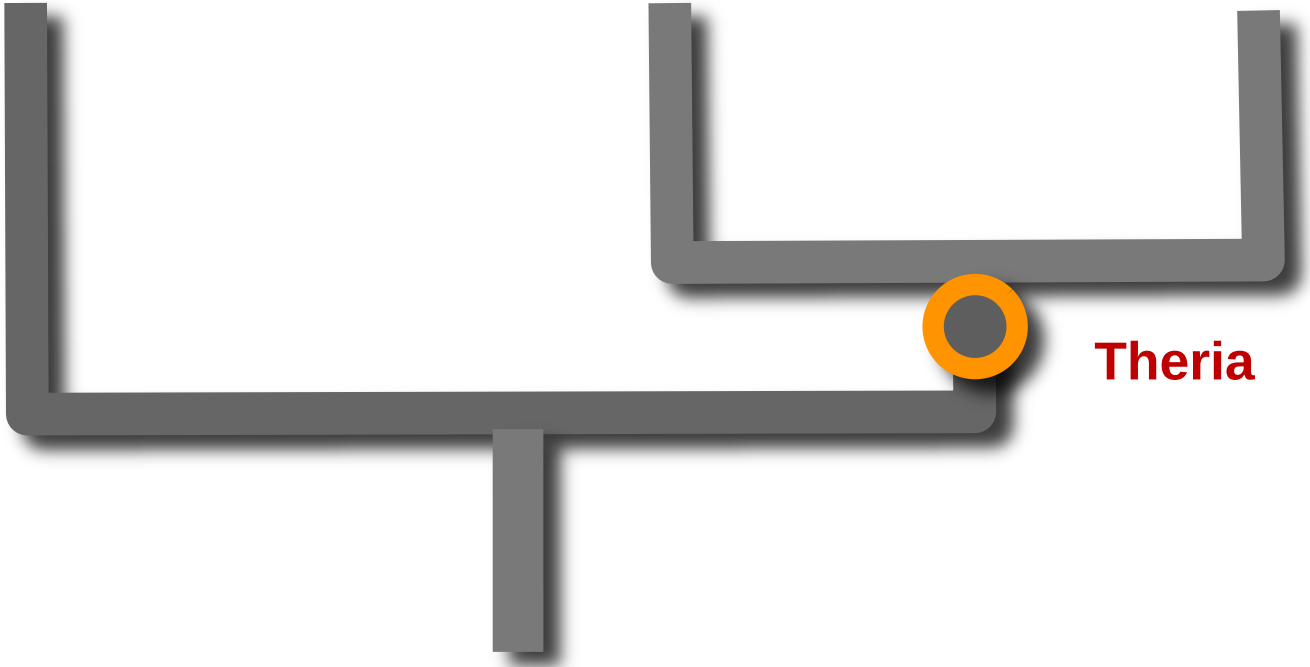
E. Thenius (1984)

Mammalia (Säugetiere)

Monotremata (Kloakentiere)

Eutheria (Placentatiere)

Marsupialia (Beuteltiere)

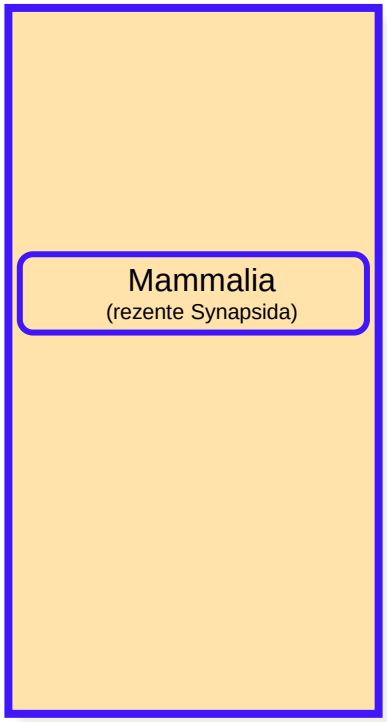


Hagenbeckallee

Amniota – hier: Säugetiere

- **Mammalia**

„mamma“ = lat. Brust, Zitze



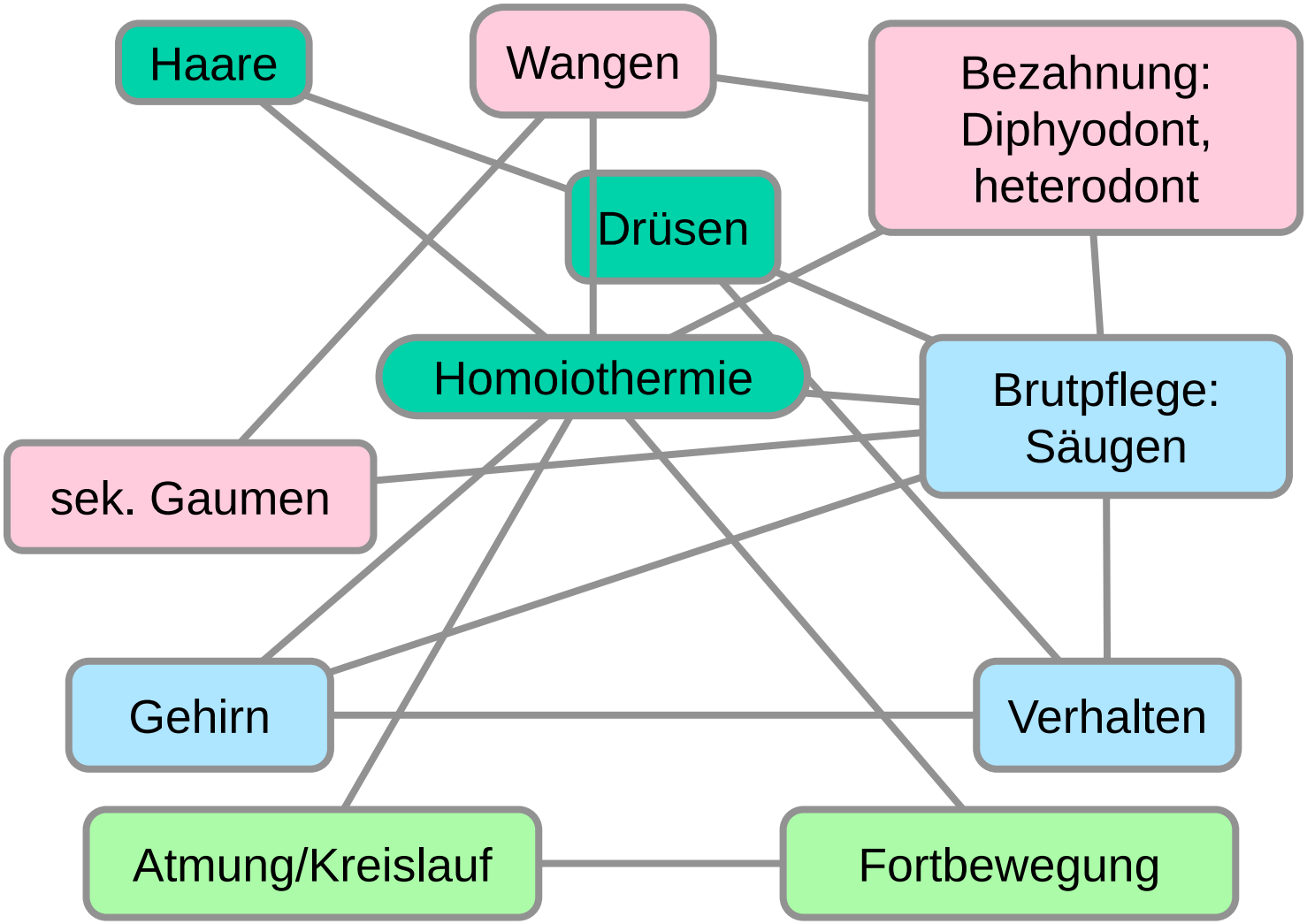
Übersicht einiger wichtiger Apomorphien

1. Milchdrüsen
2. Haarkleid
3. Sek. Kiefergelenk
4. Quadratum & Articulare zu Gehörknöchelchen
5. Knochenepiphysen
6. Drüsenreiche Haut
7. Heterodontie
8. Einmaliger Zahnwechsel
9. Homoiothermie
10. Regionale Differenzierung der Wirbelsäule
11. Einrollen der Lagena
12. Differenzierung des Telencephalons
13. Kein Nieren/Pfortader-System
14. Sek. Gaumen
15. Extremitäten unter dem Körper

Mammalia

- **Wichtige apomorphe Merkmale im biologischen Zusammenwirken**

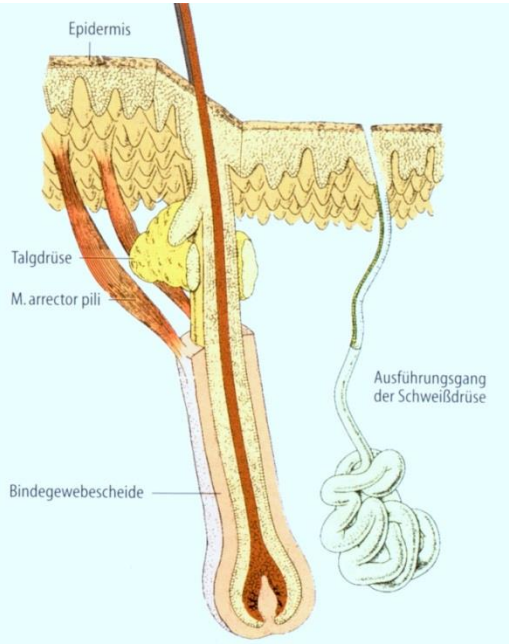
  - Komplex drei Schlüsselmerkmale



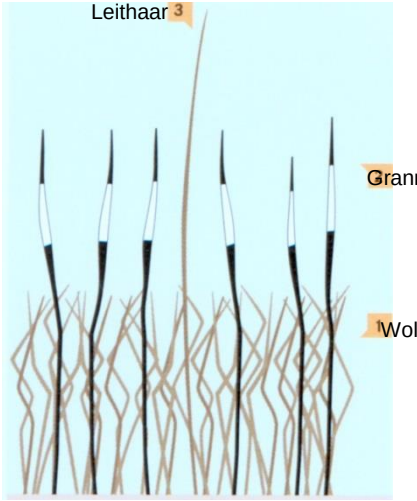
Mammalia

- **Homoiothermie - unabhängig von Vögeln entwickelt**
- **Haarkleid – Neubildung: Haare nicht umgewandelte Schuppen**

  zur thermischen Isolation (sek. auch als Träger von Signalen)



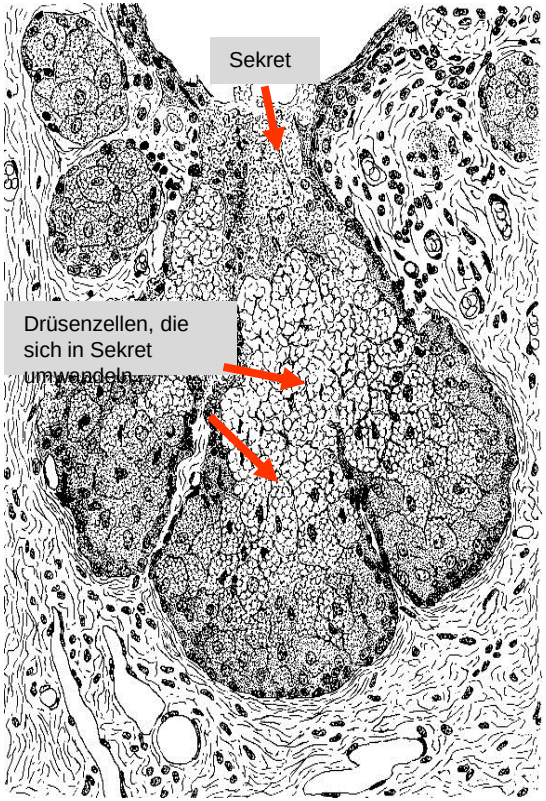
Säugerepidermis mit Haar, epithelialer und bindegewebiger Haarscheide, M. arrector pili und Hautdrüsen. Haare sind unverzweigte Keratinfäden, die von einer Epidermis-invagination über einer Coriumpapille gebildet werden.



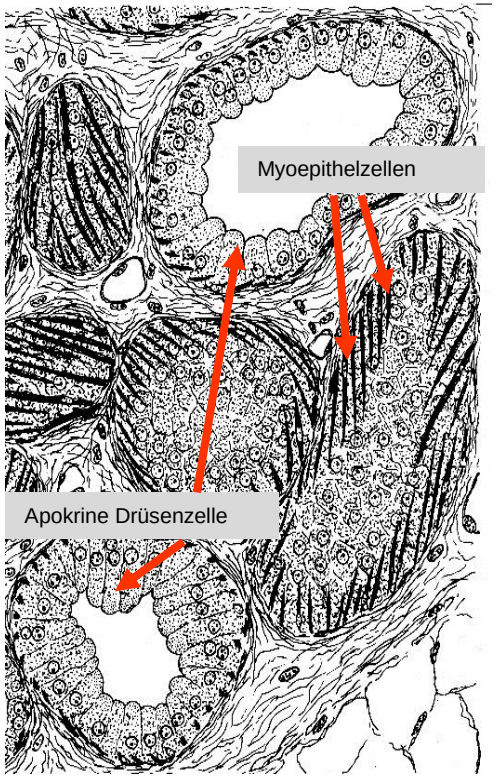
Aufbau eines typischen Haarkleides

Mammalia

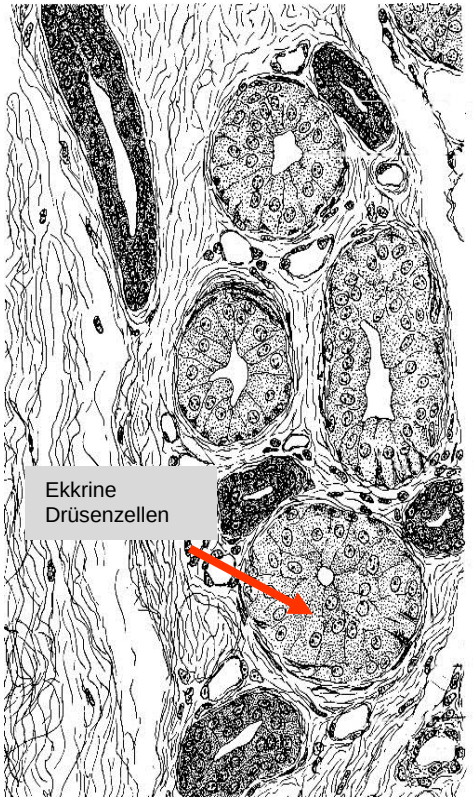
- **drüsenreiche Haut mit Talg- u. Schweißdrüsen**
- **Thermoregulation; sek. olfaktorische Kommunikation**



Talgdrüse, holokrin



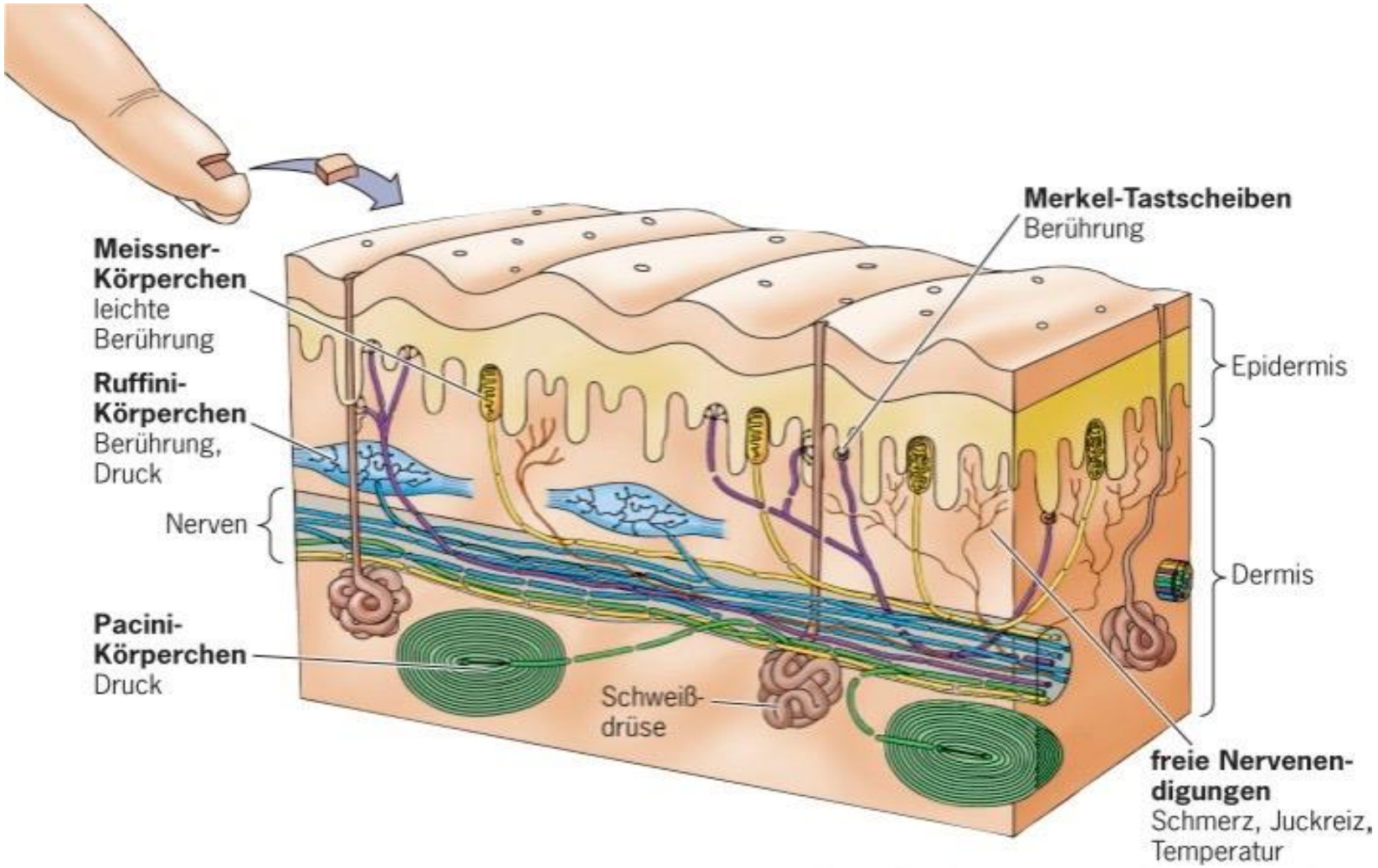
Schweißdrüse, apokrin



Schweißdrüse, ekkrin

Mammalia

- **Haut (Cutis - mehrschichtig) und Drüsen**

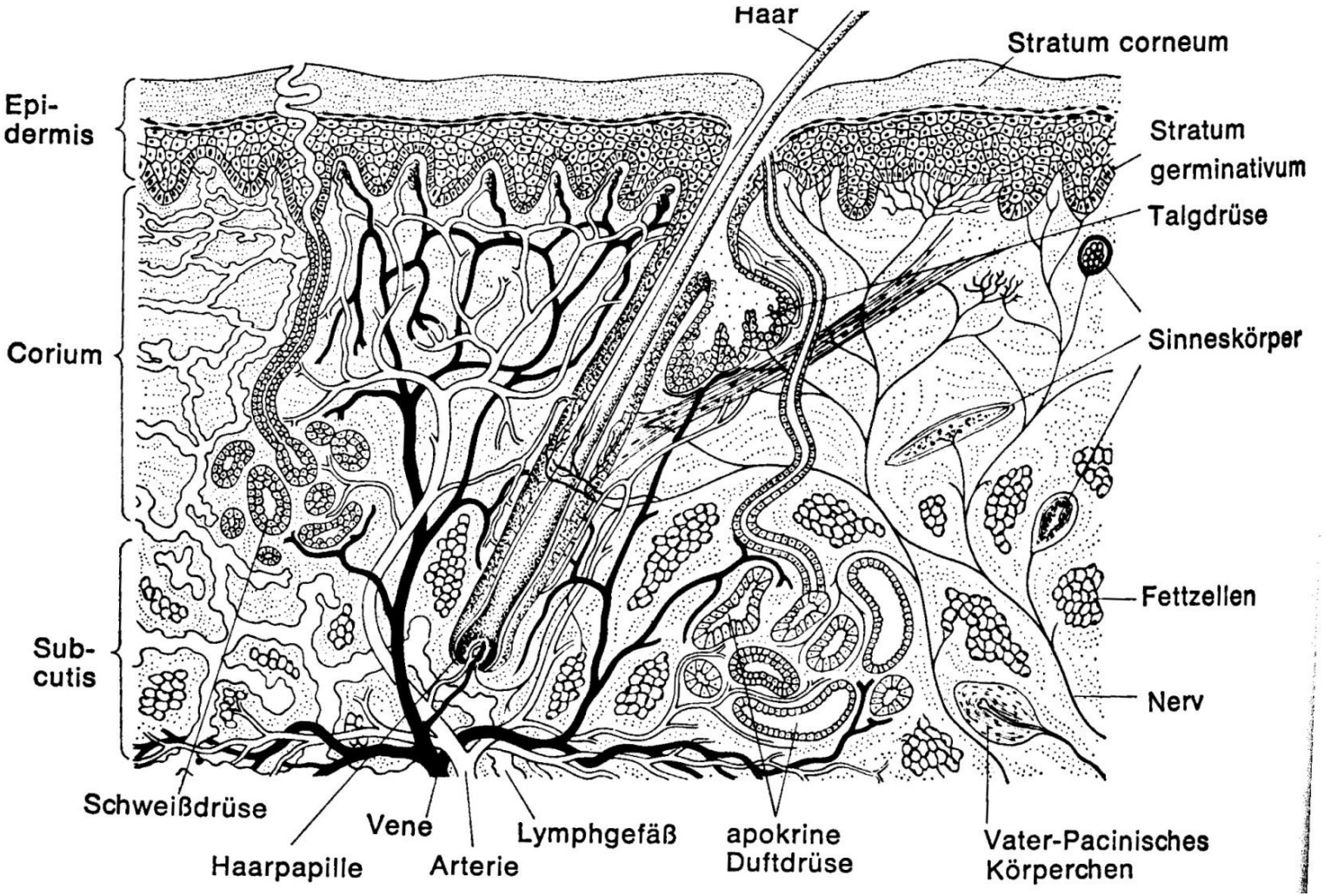


Aus Purves/Sadava/Orians/Heller, *Biologie*, 7. Aufl., © 2006 Elsevier GmbH

Mammalia

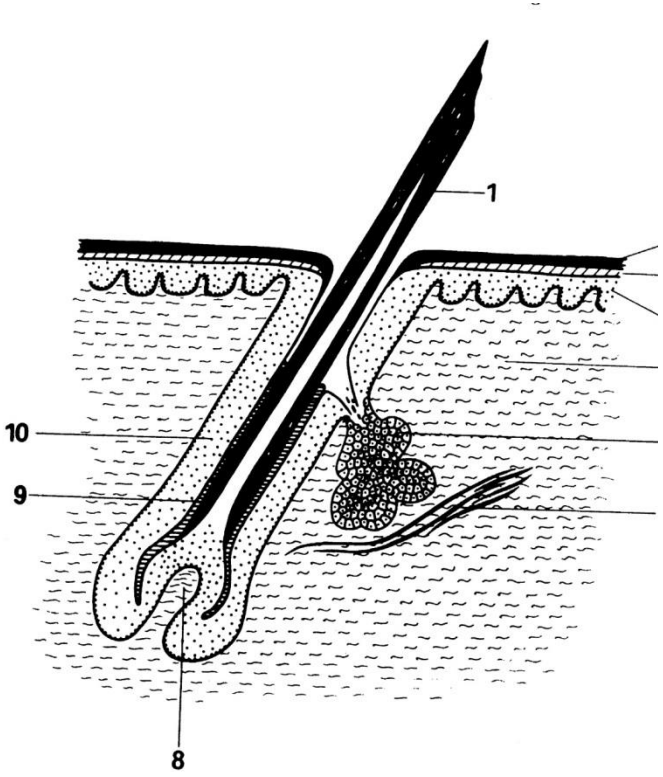
- **Haut (Cutis)**
  - **mehrschichtig**

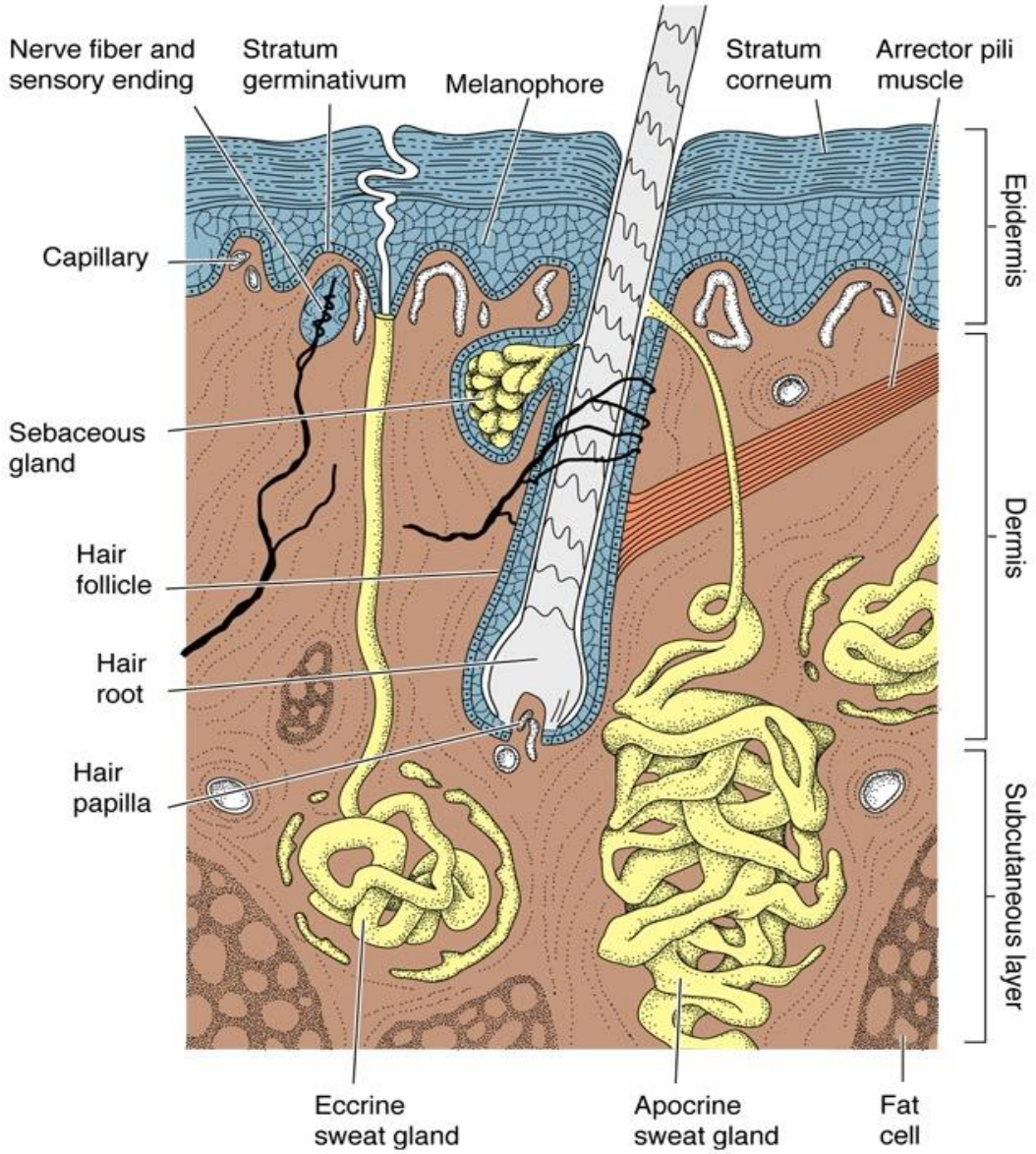
- **Epidermis**: Stratum corneum (Hornschicht - Schuppen, Krallen etc.)
  Stratum germinatium (Keimschicht)
- **Dermis:** Corium (Lederhaut) bindegewebig
  Subcutis (Unterhaut)



Mammalia

- **Hautdrüsen & Haarkleid**





Mammalia

- **Milchdrüse (Mamma) aus apokrinen Hautdrüsen**

Suricata-Weibchen mit Nachwuchs

- **namensgebend für die gesamte Klasse**

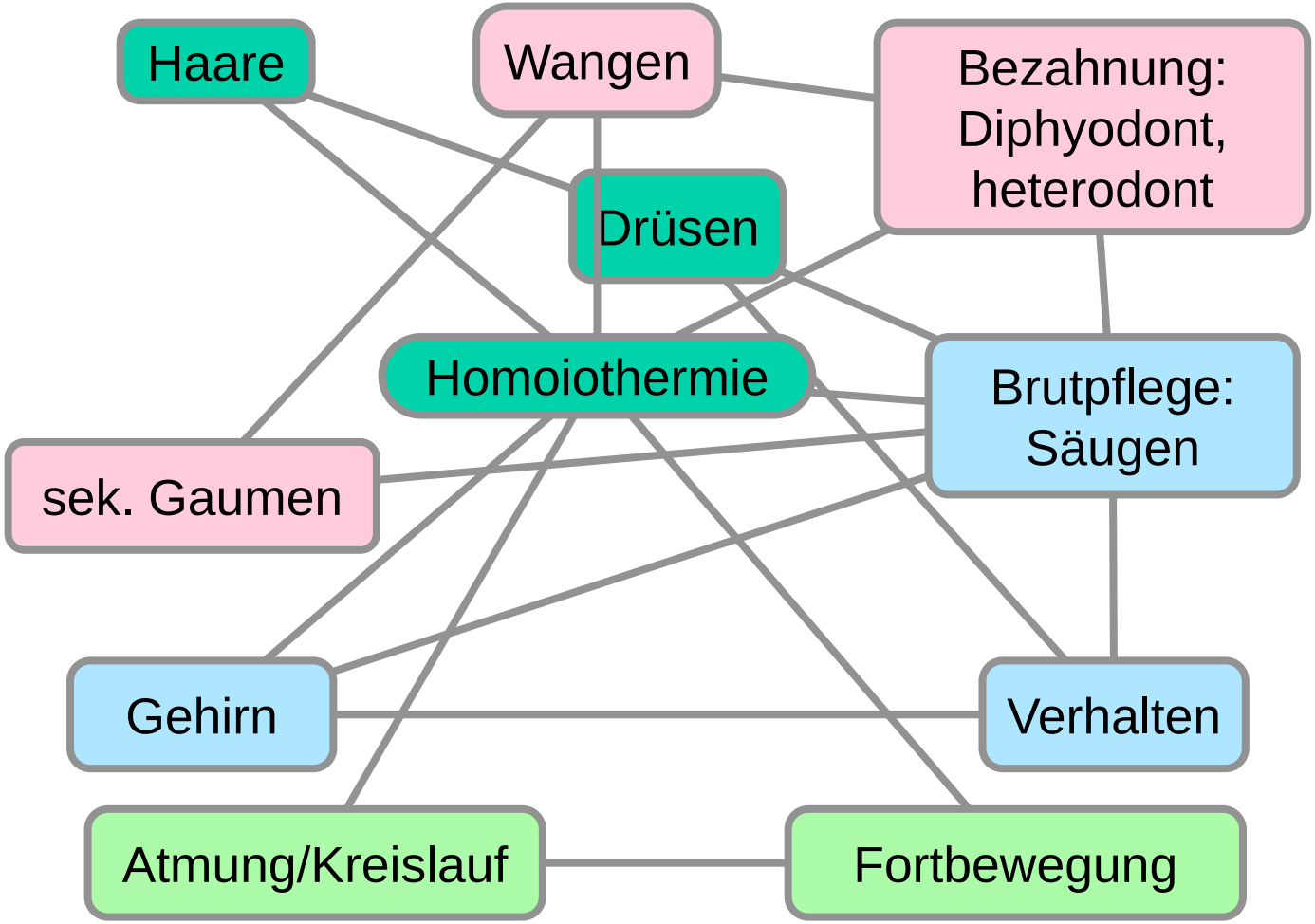
- **Mit ihrem Sekret werden die Jungtiere ggf. über einen langen Zeitraum ernährt, während dessen sie von dem Muttertier bzw. den Eltern abhängig sind.**

- **Die Milchdrüse ist daher auch die Basis für eine langfristige Beziehung zwischen Elterntieren und Nachwuchs.**
- **Diese elterliche Fürsorge findet ihre Parallele bei den Vögeln – auf einer anderen Grundlage.**

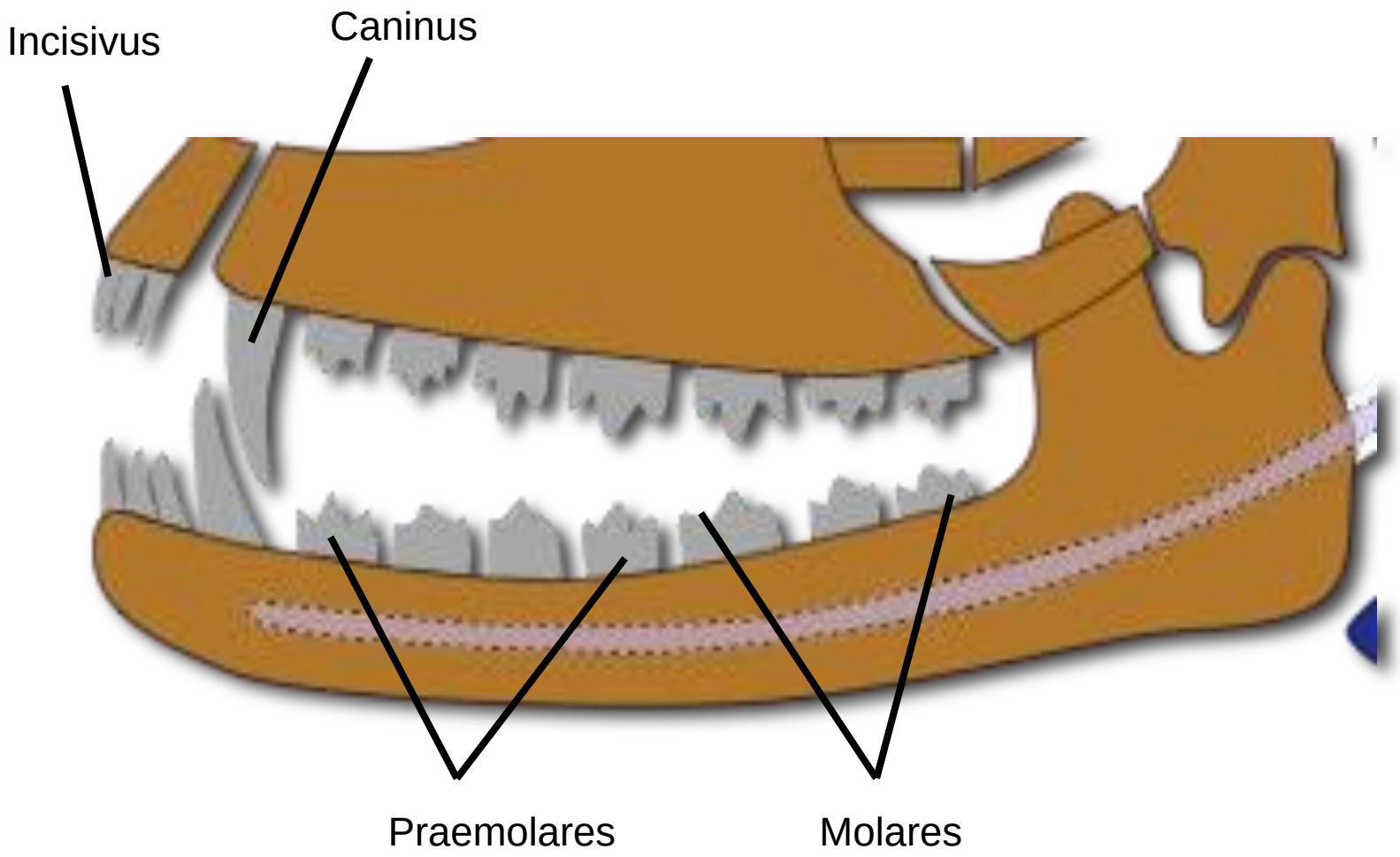
- **Auch andere Wirbeltiere und Wirbellose besitzen Beziehungen zu ihrem Nachwuchs, aber nicht in diesem Ausmaß und der Dauer wie bei Säugern.**

Mammalia

- **Wichtige apomorphe Merkmale im biologischen Zusammenwirken**

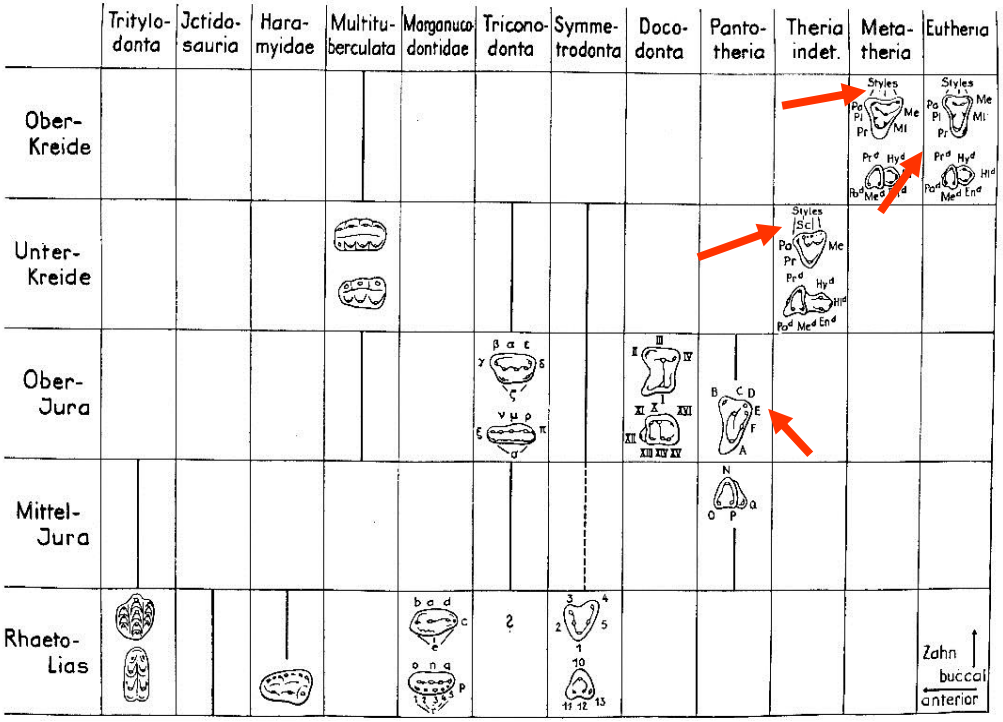


- **heterodonte Bezahnung**

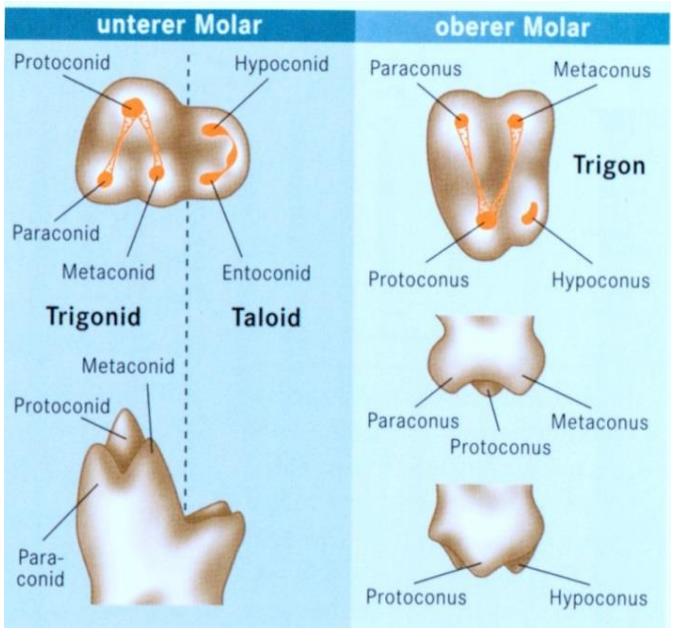


- **Komplex aus drei Schlüsselmerkmalen:**

  Gebiss mit tribosphenischen Molaren

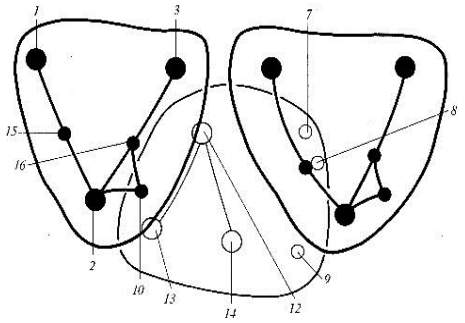


Molarenoberflächen mesozoischer Säuger, von Pantotheria und Theria



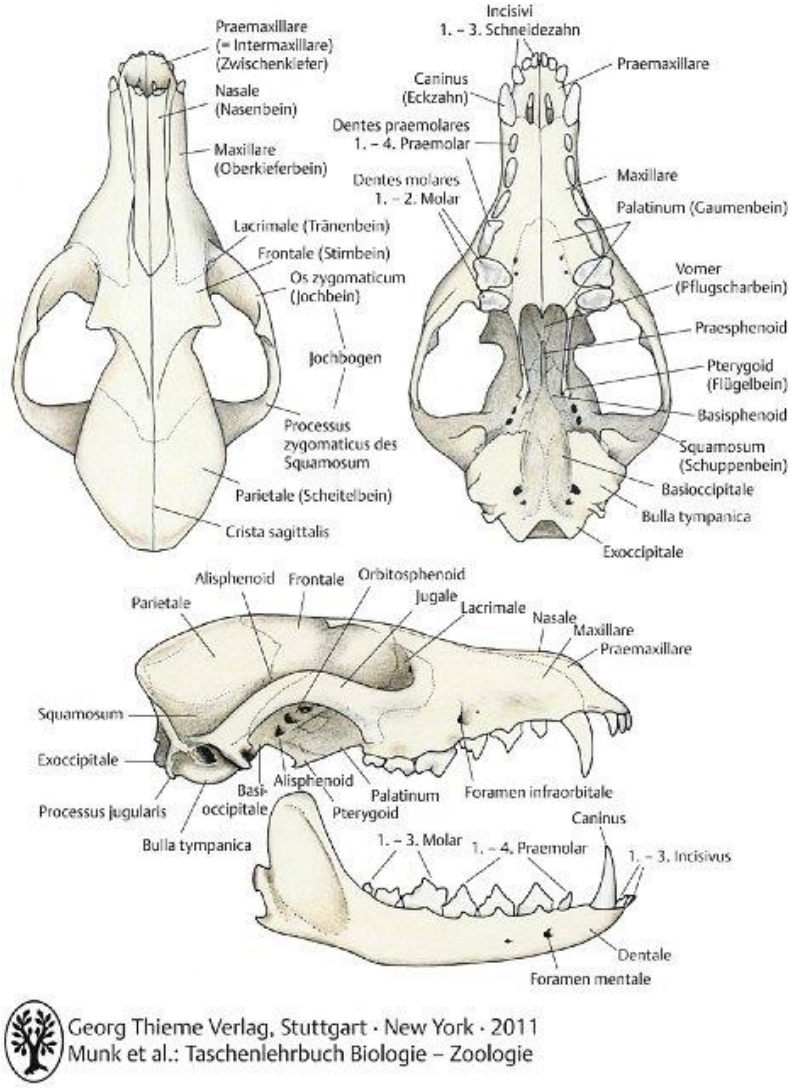
Tribosphenische Zähne können Nahrung (primär Insekten) durch reibende Flächen, schneidende Kanten und durch Quetschdruck effektiv zerkleinern wie kein Molarentyp davor.

Sie stellen eine ernährungsbiologisch besonders bedeutungsvolle Entwicklung dar. Alle Molarentypen der Säuger lassen sich von den tribosphenischen Zähnen ableiten.



Mammalia

- **Zähne & Schädelbau**



Georg Thieme Verlag, Stuttgart · New York · 2011
Munk et al.: Taschenlehrbuch Biologie – Zoologie

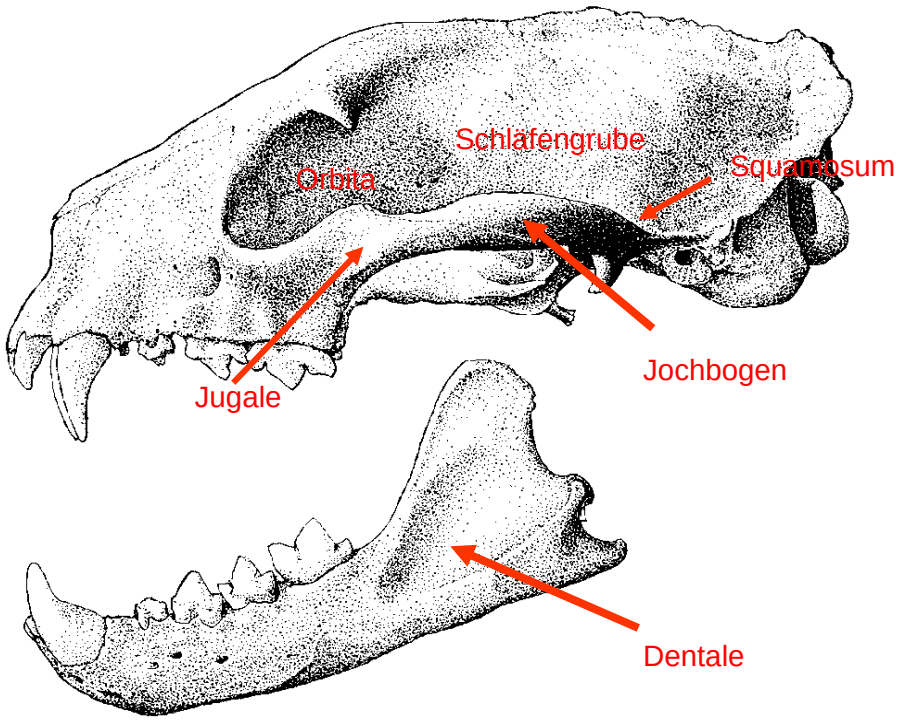
Mammalia

- **Fakten zum Schädel der Säuger**

  - Reduktion der Zahl der Schädelknochen (verglichen mit urspr. Tetrapoden)
  - Dentale ist einziger Unterkieferknochen
  - Sekundäres Kiefergelenk: Squamosum / Dentale
  - Knochen des primären Kiefergelenks werden zu Hammer (Malleus) und Amboss (Incus), zwei der drei Gehörknöchelchen
  - Sekundärer Gaumen (Praemaxillare, Maxillare, Palatinum) trennt den Atemgang vom Mundraum; Choane nach hinten verlagert
  - Spezialisierte Zähne unterschiedlicher Gestalt: Heterodontes Gebiss mit Incisivi, Canini, Praemolares, Molares
  - Diphyodontes Gebiss (Milch- und Dauergebiss)
  - Sekundäre Schädelseitenwand (medial zur Kaumuskulatur), primäre Schädelseitenwand reduziert (ausgedehnte Fenestrierung)

- **synapsider Schädel**

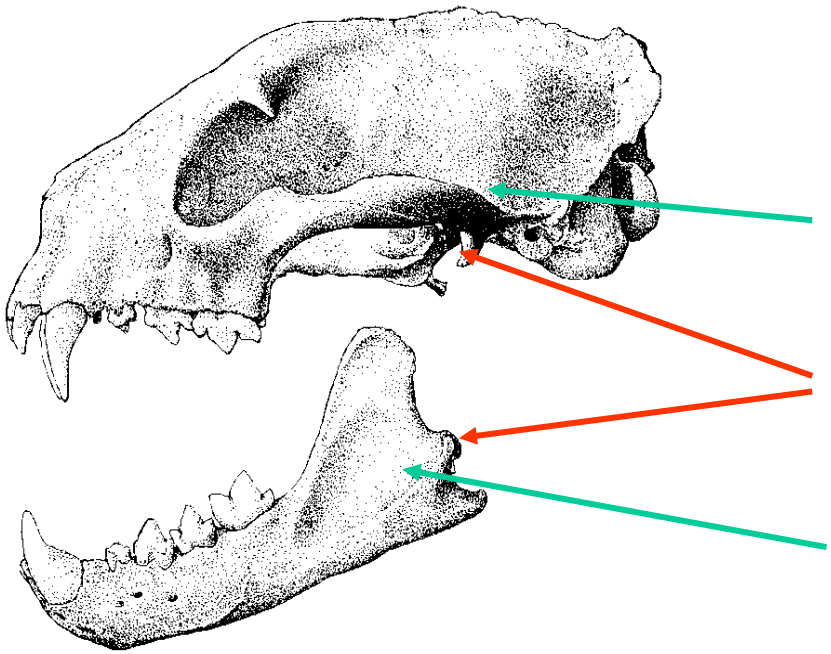
tiefliegender Jochbogen wird vom Jugale und vom Squamosum gebildet



Der Unterkiefer besteht nur noch aus einem einzigen Knochen, dem Dentale.

Cryptoprocta ferox

- **Sekundäres Kiefergelenk**



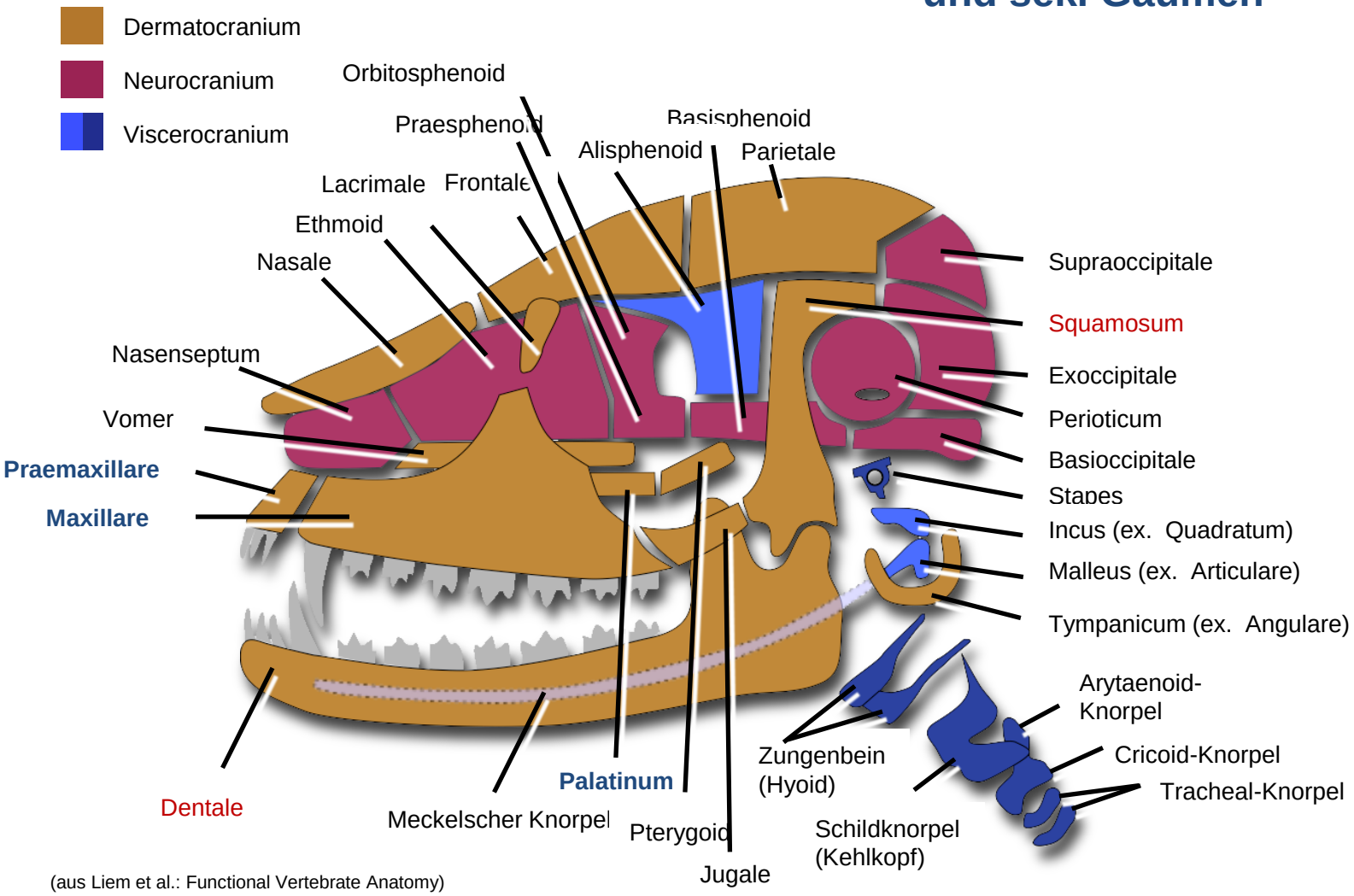
Schädel von *Cryptoprocta* mit dem für alle Mammalia typischen sekundären Kiefergelenk zwischen Squamosum und Dentale.

Der Vorschlag des amerikanischen Wissenschaftlers G.G. Simpson, nach dem alle Formen mit einem sekundären Kiefergelenk zwischen Squamosum und Dentale per definitionem Säugetiere sind, hat sich durchgesetzt.

Mammalia

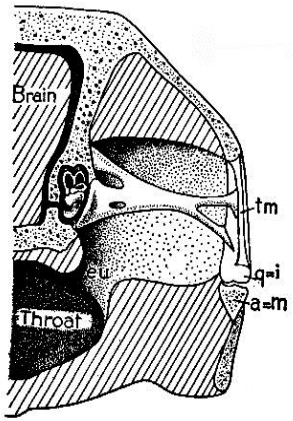
- **Schädel mit sek. Kiefergelenk (prim. KG = Gehörknöchelchen)**

und sek. Gaumen

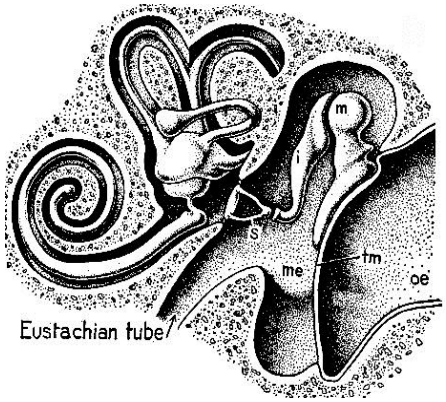


(aus Liem et al.: Functional Vertebrate Anatomy)

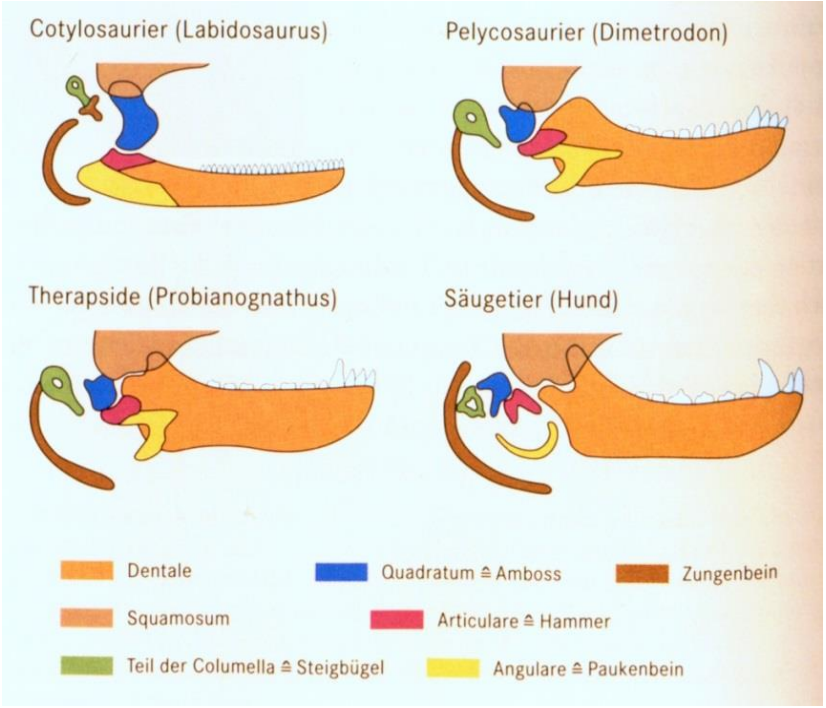
- **Gehörknöchelchen**



Mittelohr der Reptilien. Die Schallübertragung erfolgt über die Columella (=Hyomandibulare, 2. Visceralbogen)



Mittelohr der Säuger. Die Schallübertragung erfolgt durch Hammer (Malleus, m), Amboß (Incus, i) und Steigbügel (Stapes, s). Der Steigbügel ist der Columella (Hyomandibulare), der Amboß dem Quadratum und der Hammer dem Articulare homolog; Hammer und Amboß sind Derivate des 1. Visceralbogens.

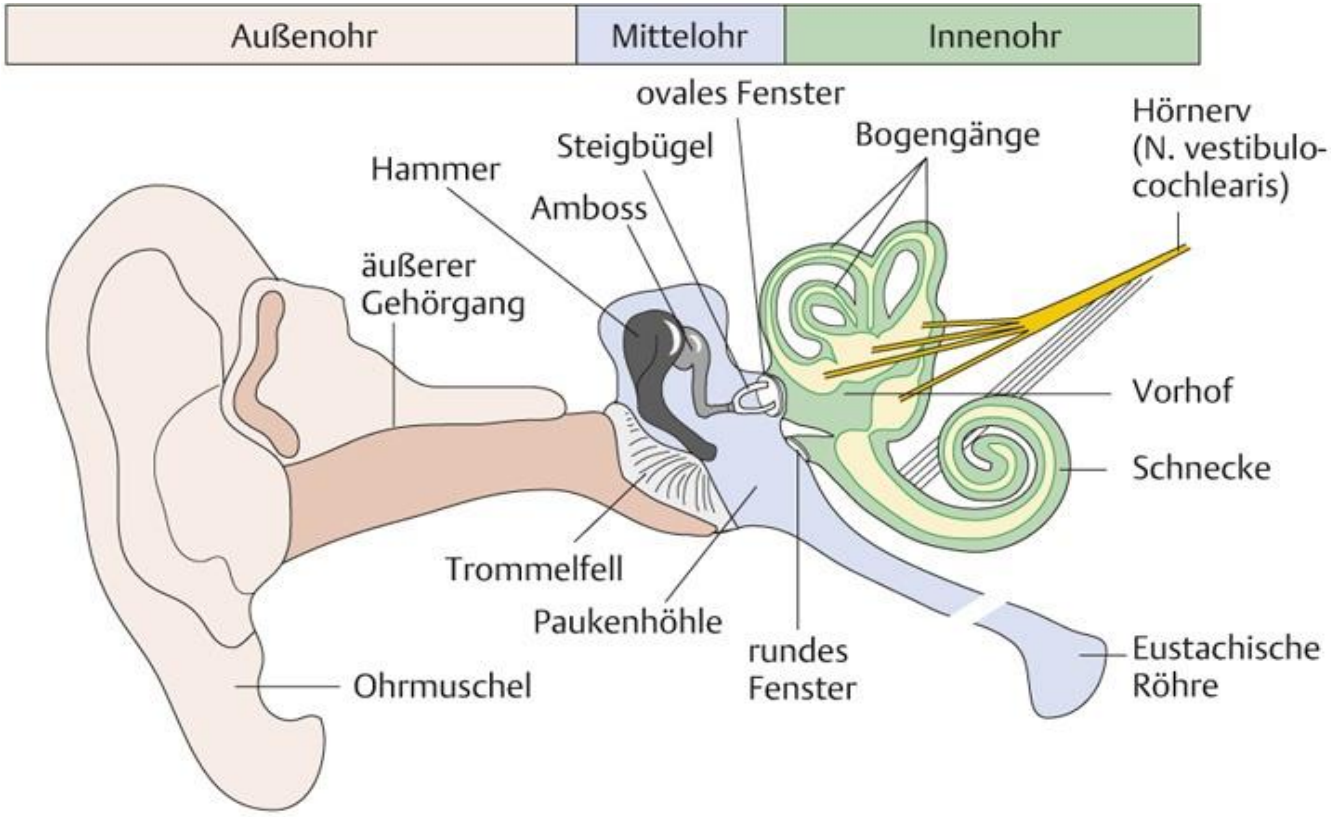


Der phylogenetische Wandel vom primären zum sekundären Kiefergelenk und der Einbau von Quadratum und Articulare in das Mittelohr der Säuger. Das Angulare wird als Tympanicum zum Boden des Mittelohres.

- **Ohr der Säuger**

Amboss (Incus) aus Quadratum der Amphibia

(Hammer/Malleus aus Articulare / Meckel. Knorpel)



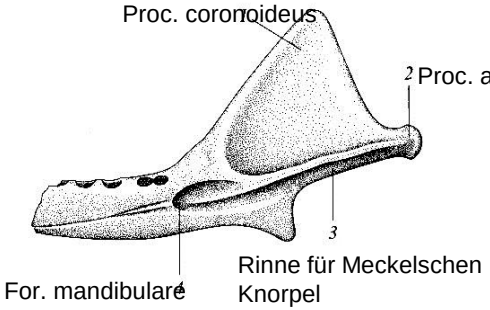
Georg Thieme Verlag, Stuttgart · New York · 2011
Munk et al.: Taschenlehrbuch Biologie – Zoologie

- **Reichert-Gauppsche Theorie**

Die Erkenntnis, dass das sekundäre Kiefergelenk das primäre ersetzt hat und dass die Knochenelemente des primären Kiefergelenks Quadratum und Articulare zu schallübertragenden Skelettelementen im Mittelohr, Incus und Malleus, wurden, ist durch zahlreiche Befunde der **vergleichenden Anatomie, der Embryologie** und auch der **Paläontologie** erarbeitet worden.

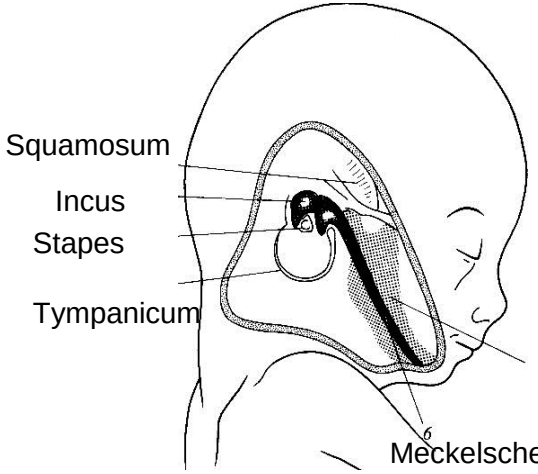
Dieser Wandel lässt sich in der Embryonalentwicklung jedes Säugerschädels zeigen; spektakulärerweise kennt man inzwischen auch Formen, die beide Kiefergelenke „nebeneinander“ in Funktion besessen haben.

Morganucodon war ein spitzmausgroßes Tier (Obertrias/Unteres Jura), das - ebenso wie *Diarthrognathus* und *Probainognathus* - nebeneinander das primäre und das sekundäre Kiefergelenk besaßen.



Morganucodon,

(Unterkiefer mediale Ansicht)

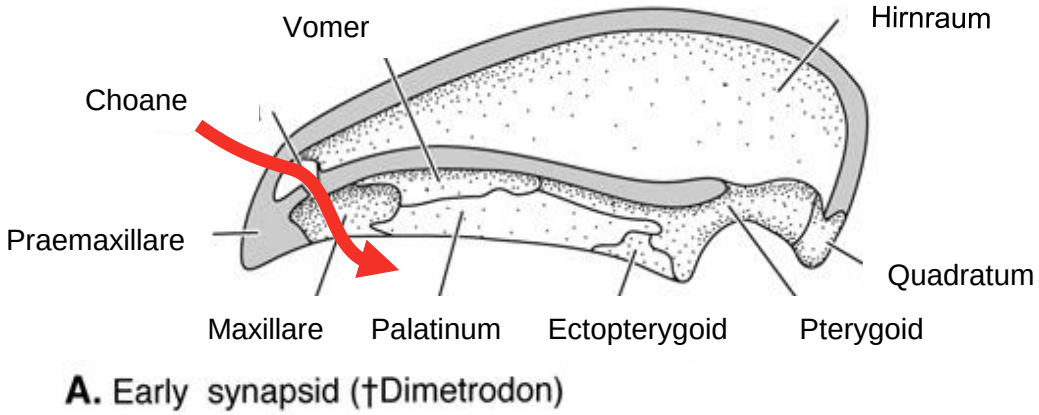


Menschlicher Embryo (62mm Scheitel-Steißlg.)

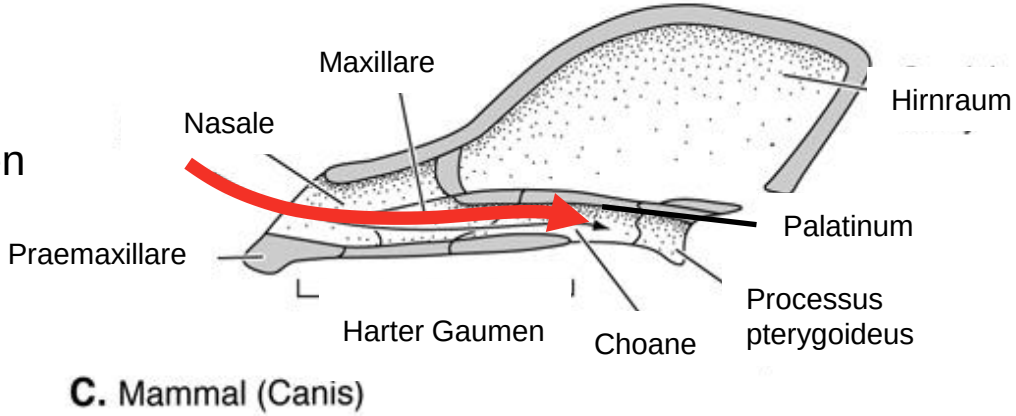
mit primärem (Hammer-Amboß) und sekundärem Kiefergelenk (Squamosodental-Gelenk)

- **Sekundärer Gaumen**

primärer Gaumen



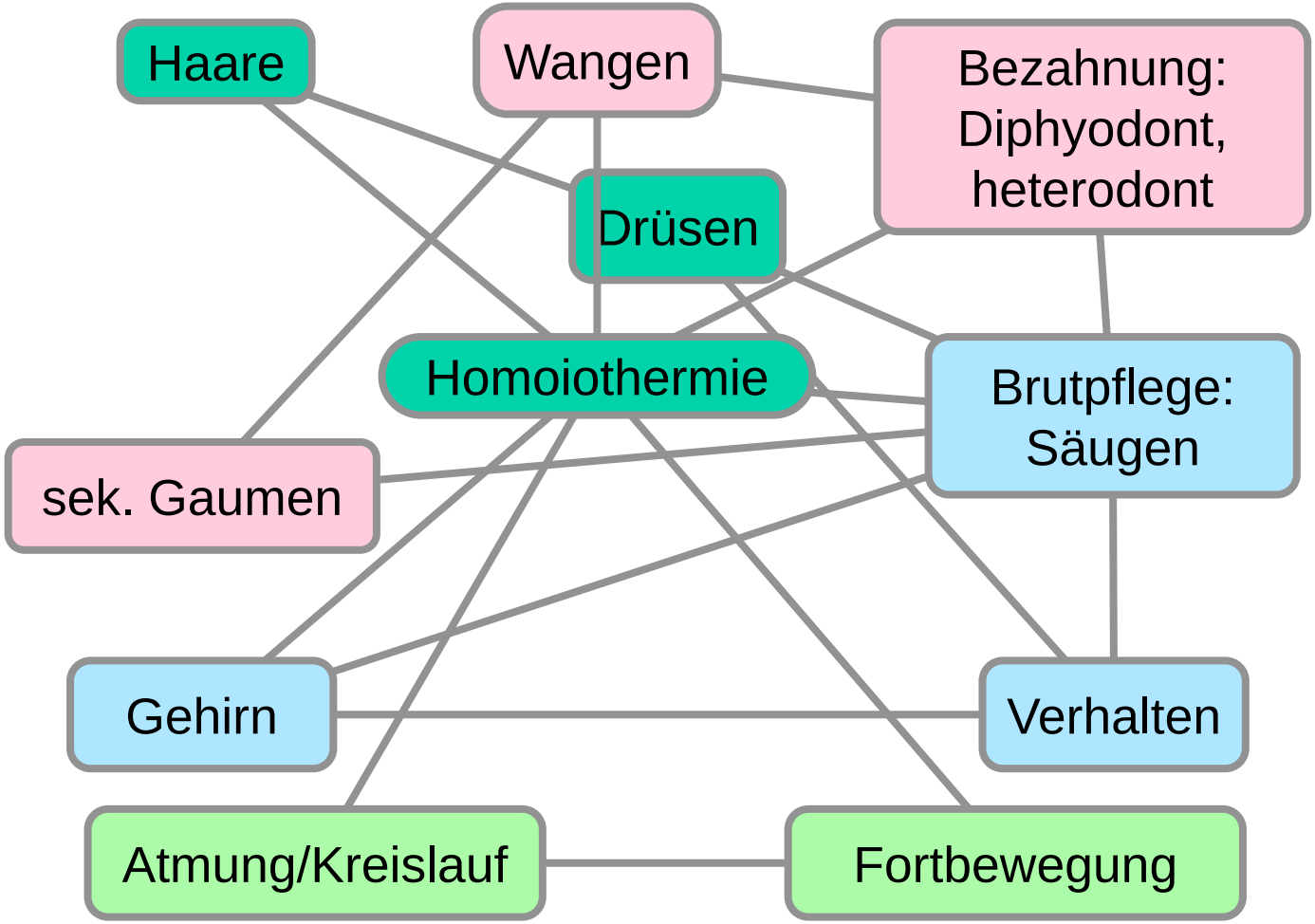
sekundärer Gaumen



(aus Liem et al.: Functional Anatomy of Vertebrates)

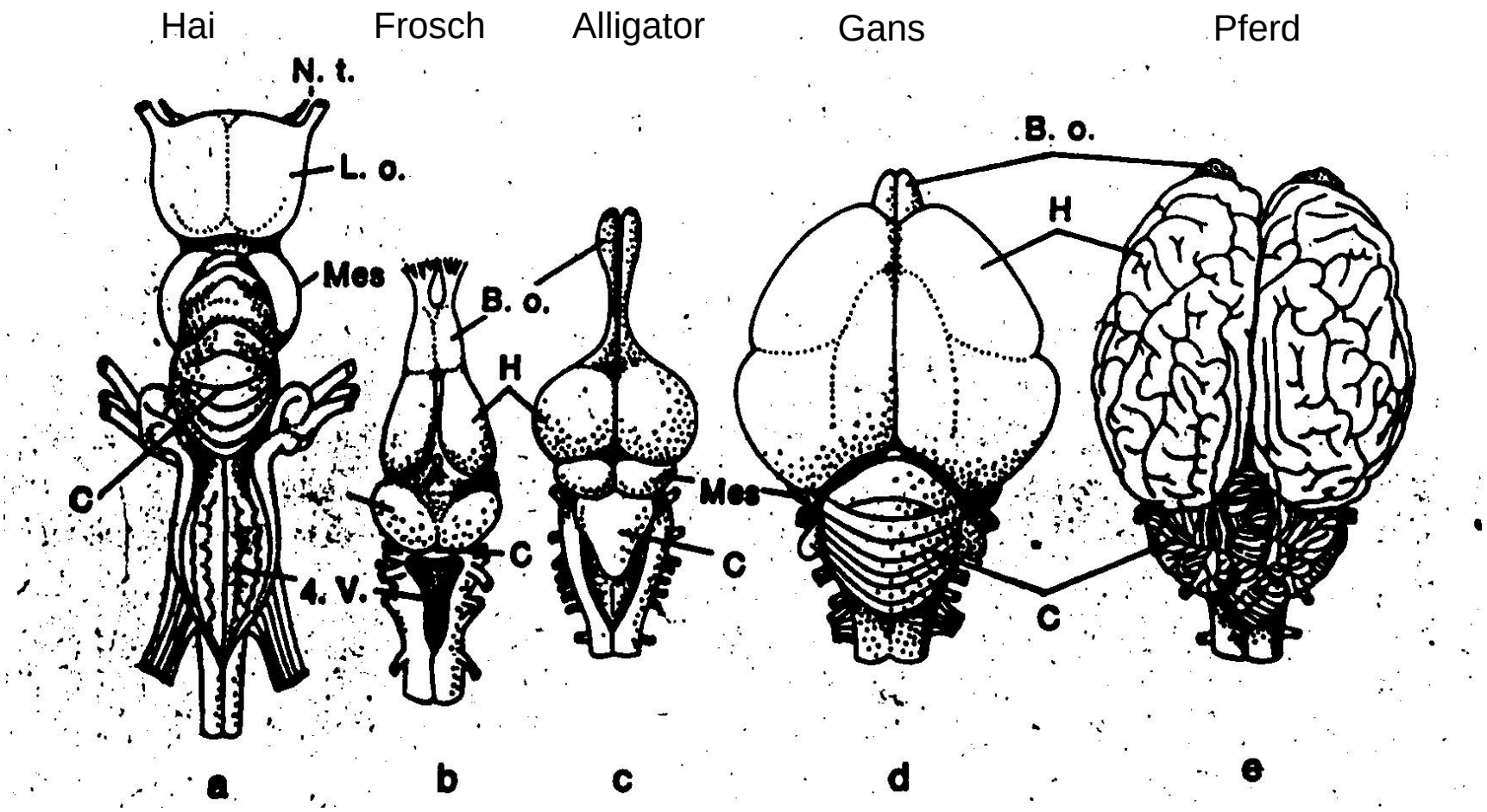
Mammalia

- **Wichtige apomorphe Merkmale im biologischen Zusammenwirken**



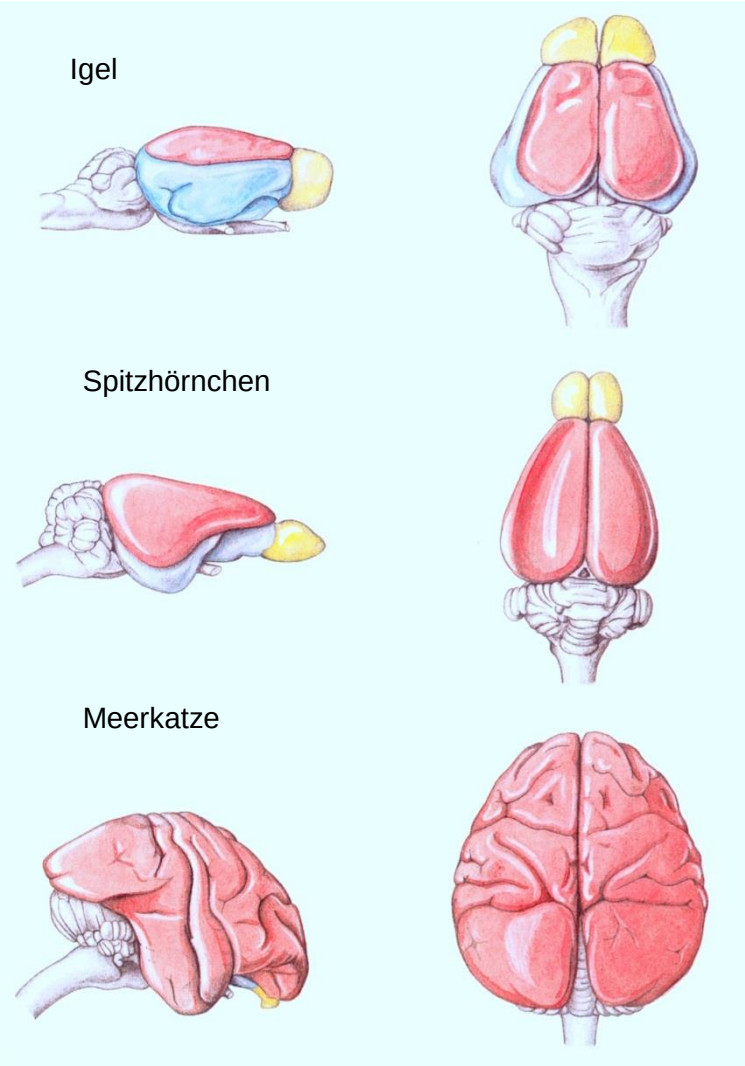
Craniota

- **Gehirnentwicklung**
  - **Telencephalon = Endhirn oder Vorderhirn - zeigt größte Entfaltung**
    --> Cortex (Pallium), Neopallium



Mammalia

- **Encephalisierung**



Das Gehirn aller Säuger ist nach demselben Bauplan konstruiert, jedoch gibt es zwischen den Arten außerordentlich große quantitative Unterschiede:

Die Hirngröße (Gewicht) und auch der Umfang einzelner Hirnteile wird durch mehrere Faktoren bestimmt

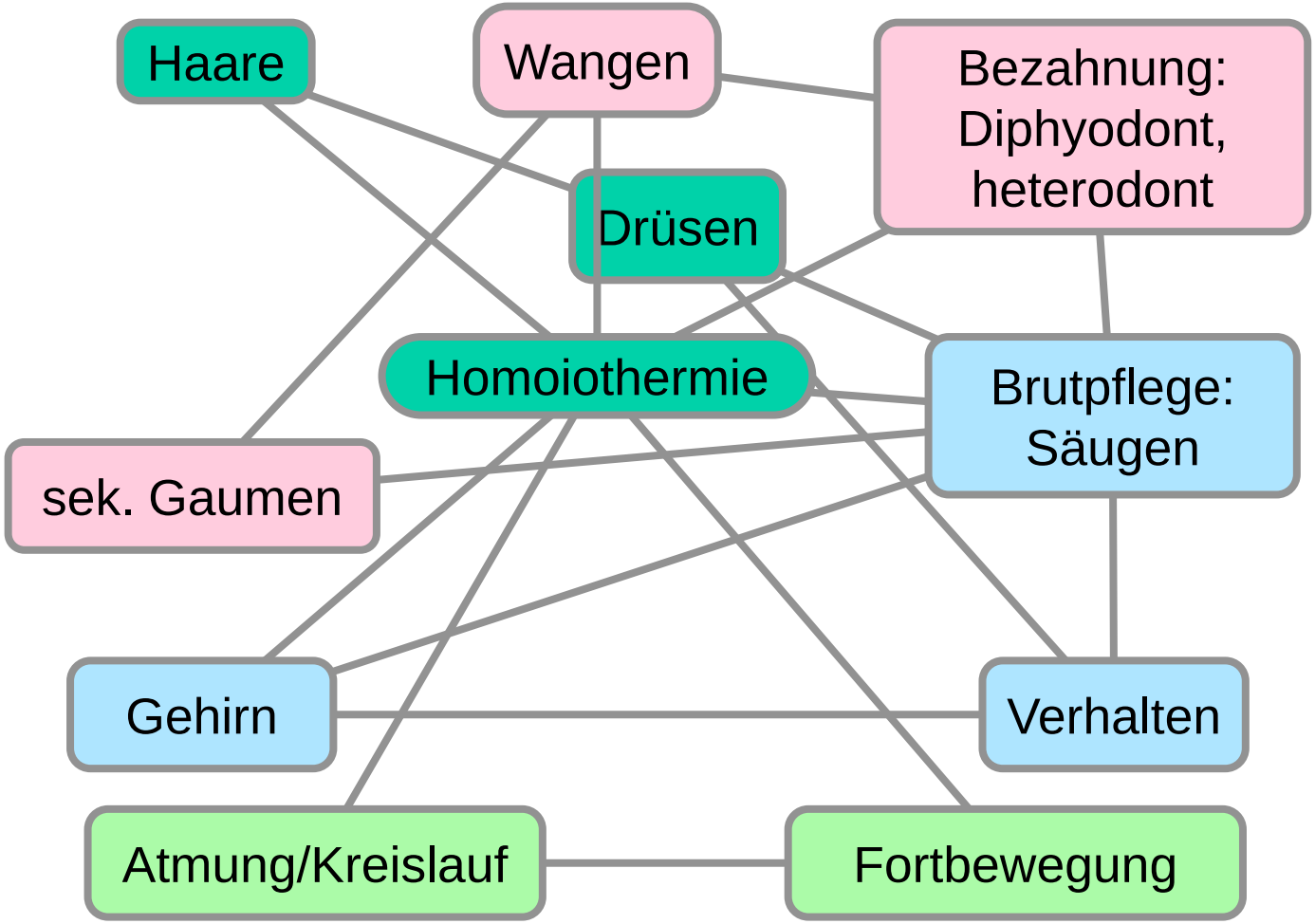
- durch die Körpergröße,
- die Evolutionshöhe und
- eine mögliche Spezialisierung.

Generell gilt, dass Säuger die leistungsfähigen Hirne im Tierreich besitzen; viele Arten sind unter den Primaten (Homo und Verwandte), Zahnwalen und Elefanten zeichnen sich durch eine besonders hohe Encephalisierung aus.

Das heißt, sie verfügen nach Herausrechnung des Körpergrößeneinflusses über sehr große Gehirne. Für den Menschen nimmt man an, dass sein Gehirn aus mehr als 100 Milliarden Neuronen aufgebaut ist.

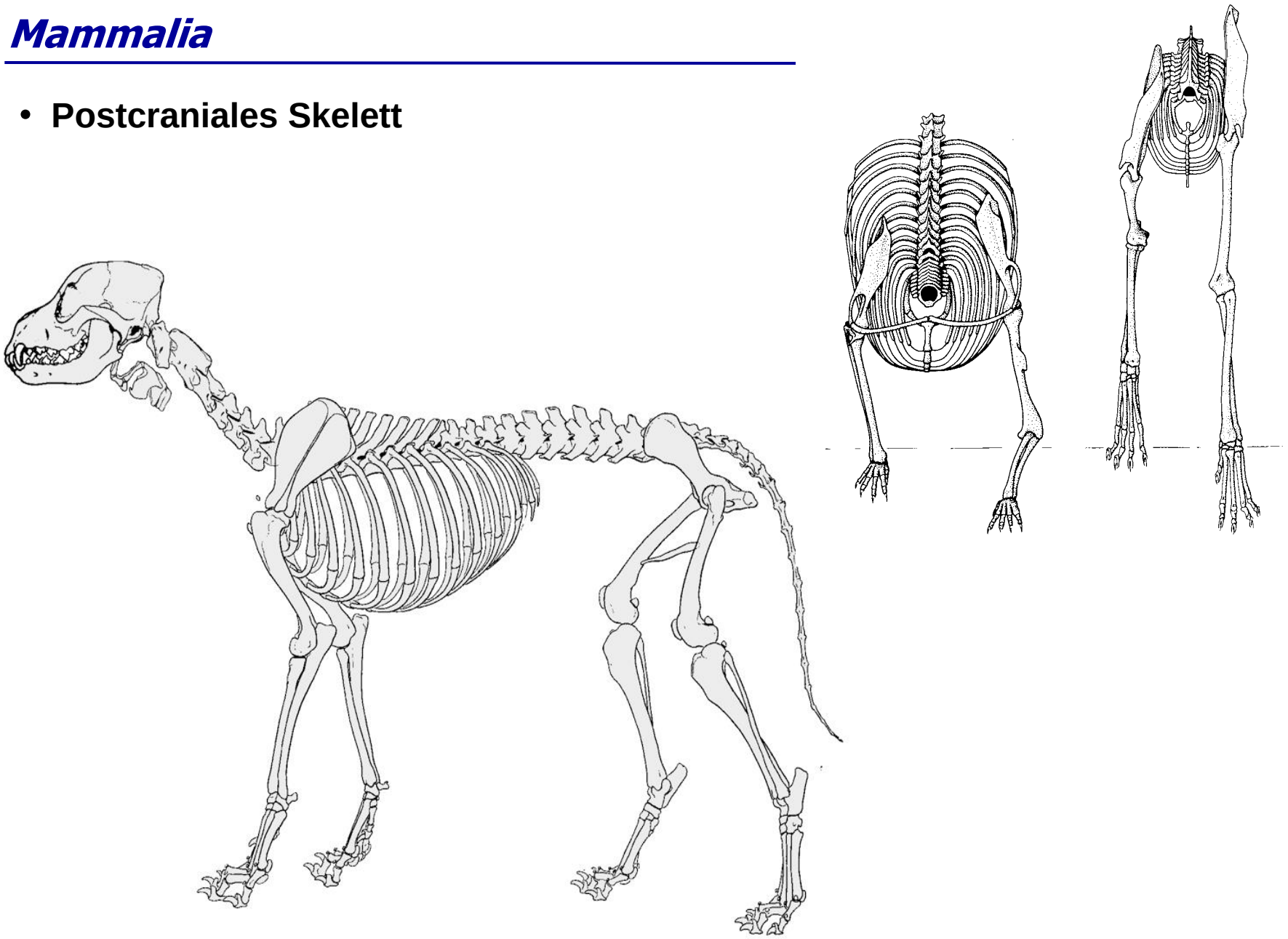
Mammalia

- **Wichtige apomorphe Merkmale im biologischen Zusammenwirken**



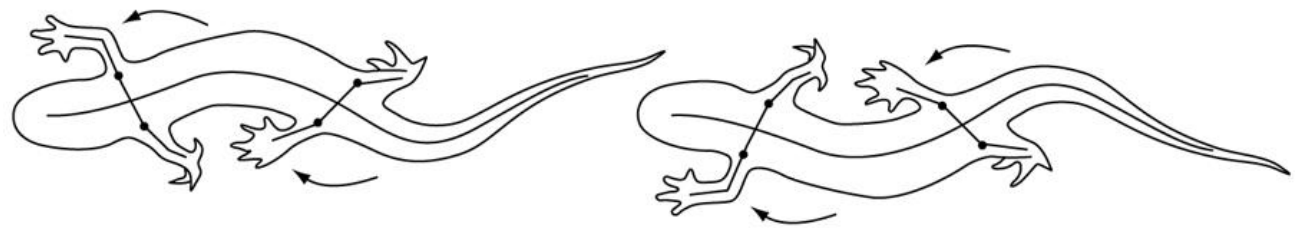
Mammalia

- **Postcraniales Skelett**

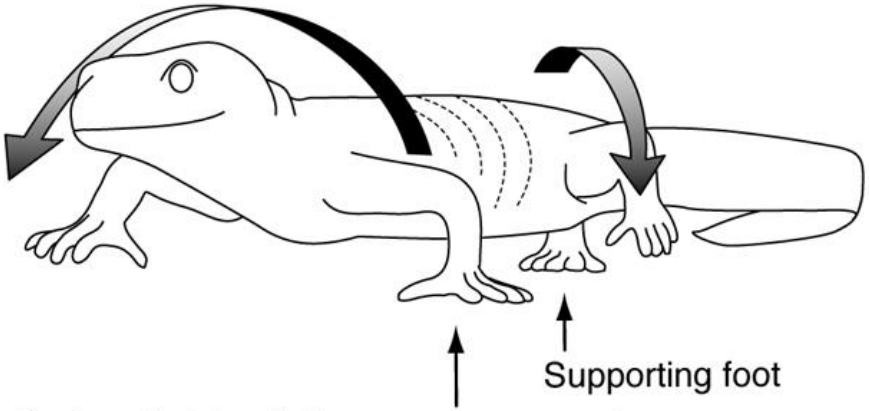


- **Lokomotion**

Spreizgang früher Landwirbeltiere



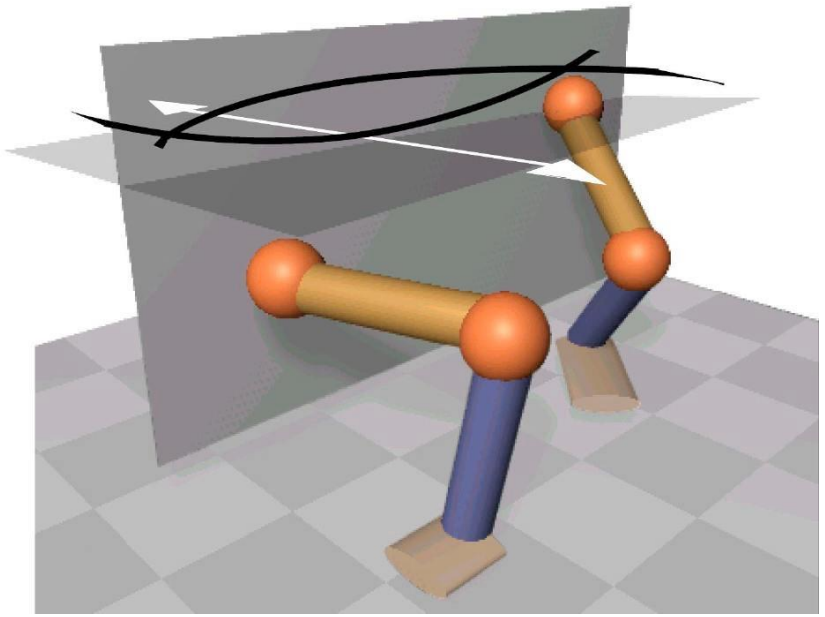
A. Dorsal view



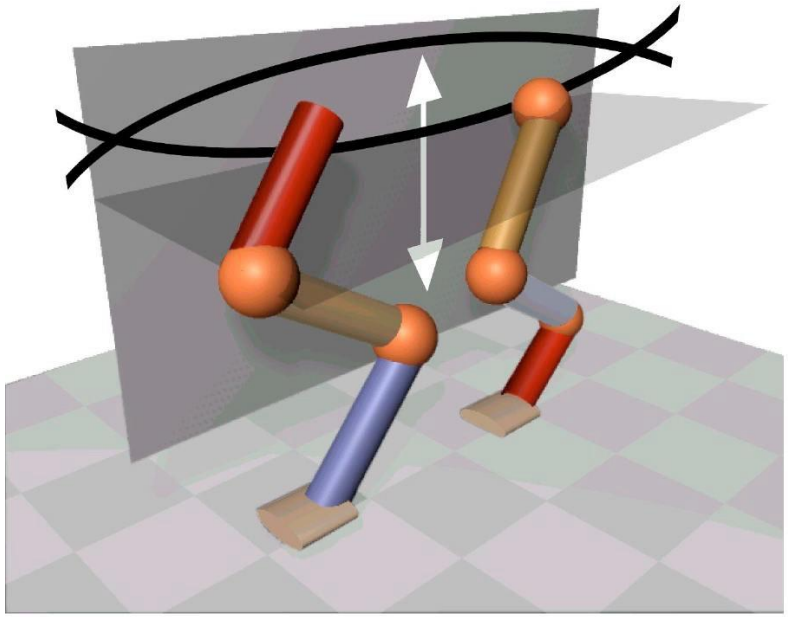
B. Anterio-lateral view

- **Lokomotion**

Beinstellung und Hauptebene der Wirbelsäulenbewegung



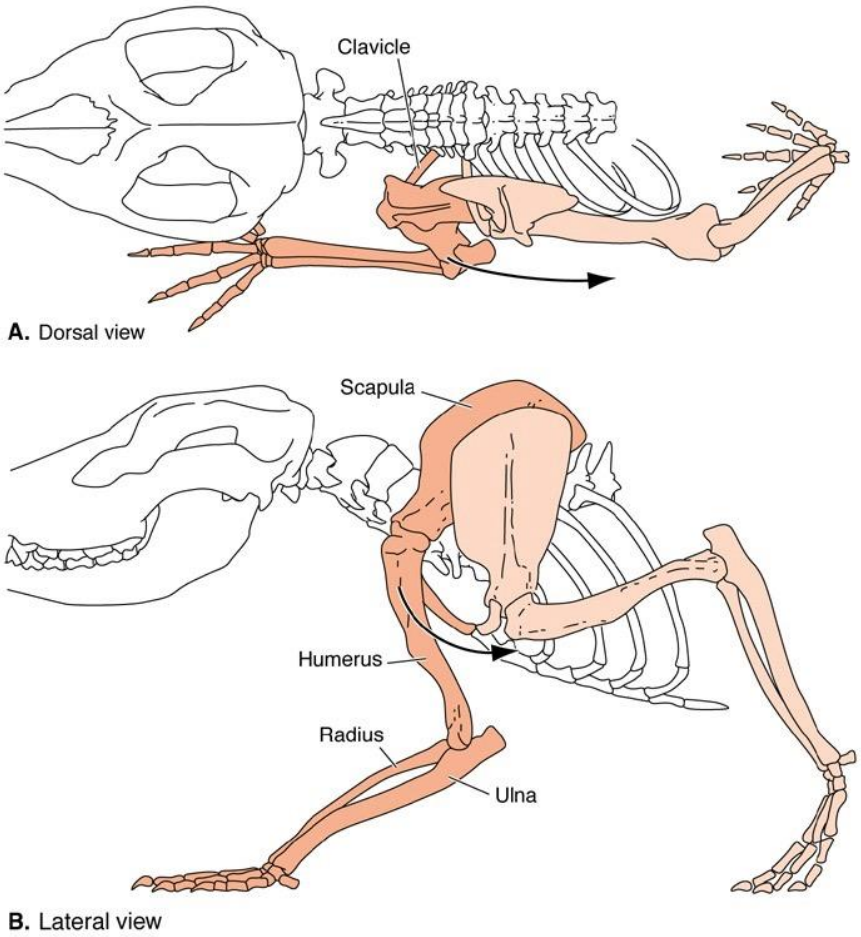
Reptil / urspr. Amniot



Säugetier

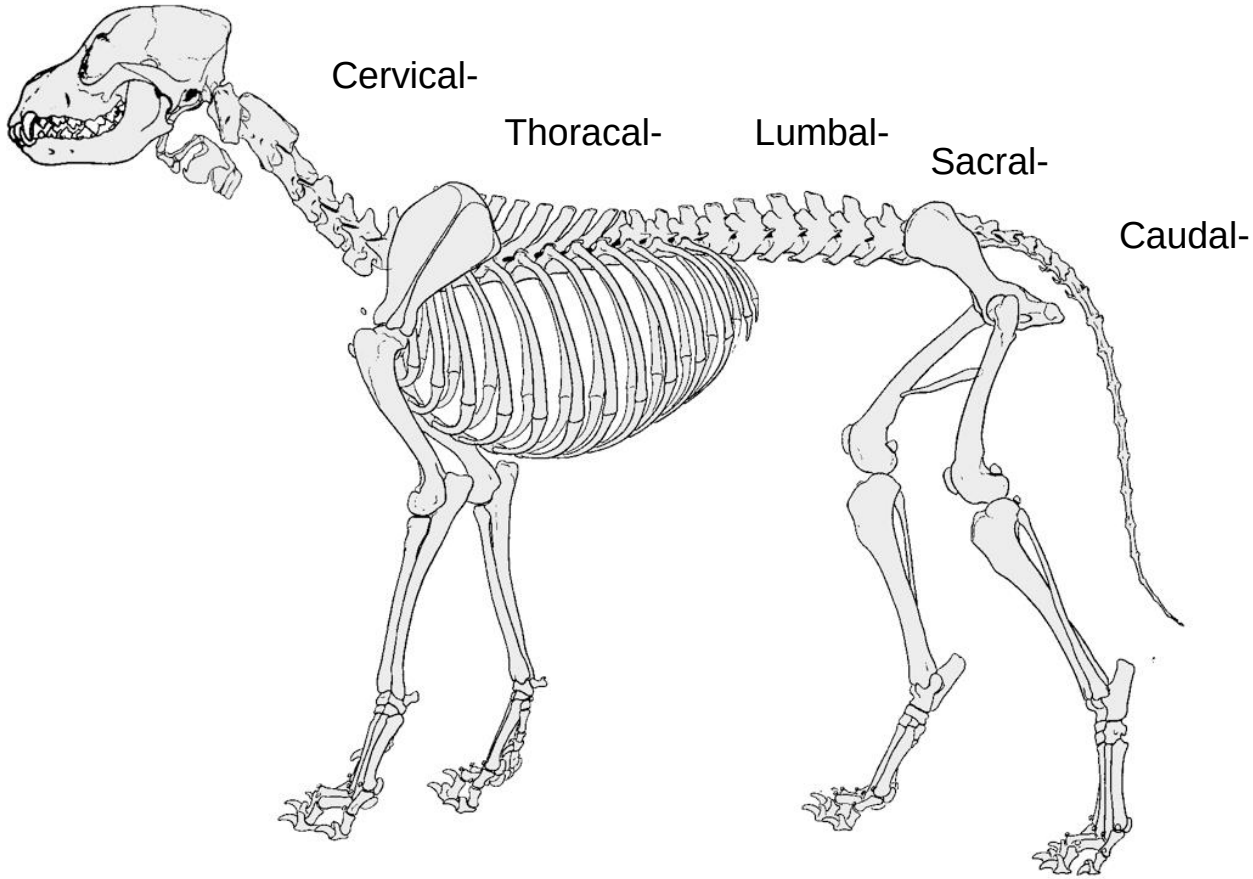
- **Fortbewegung**

Extremitätenführung

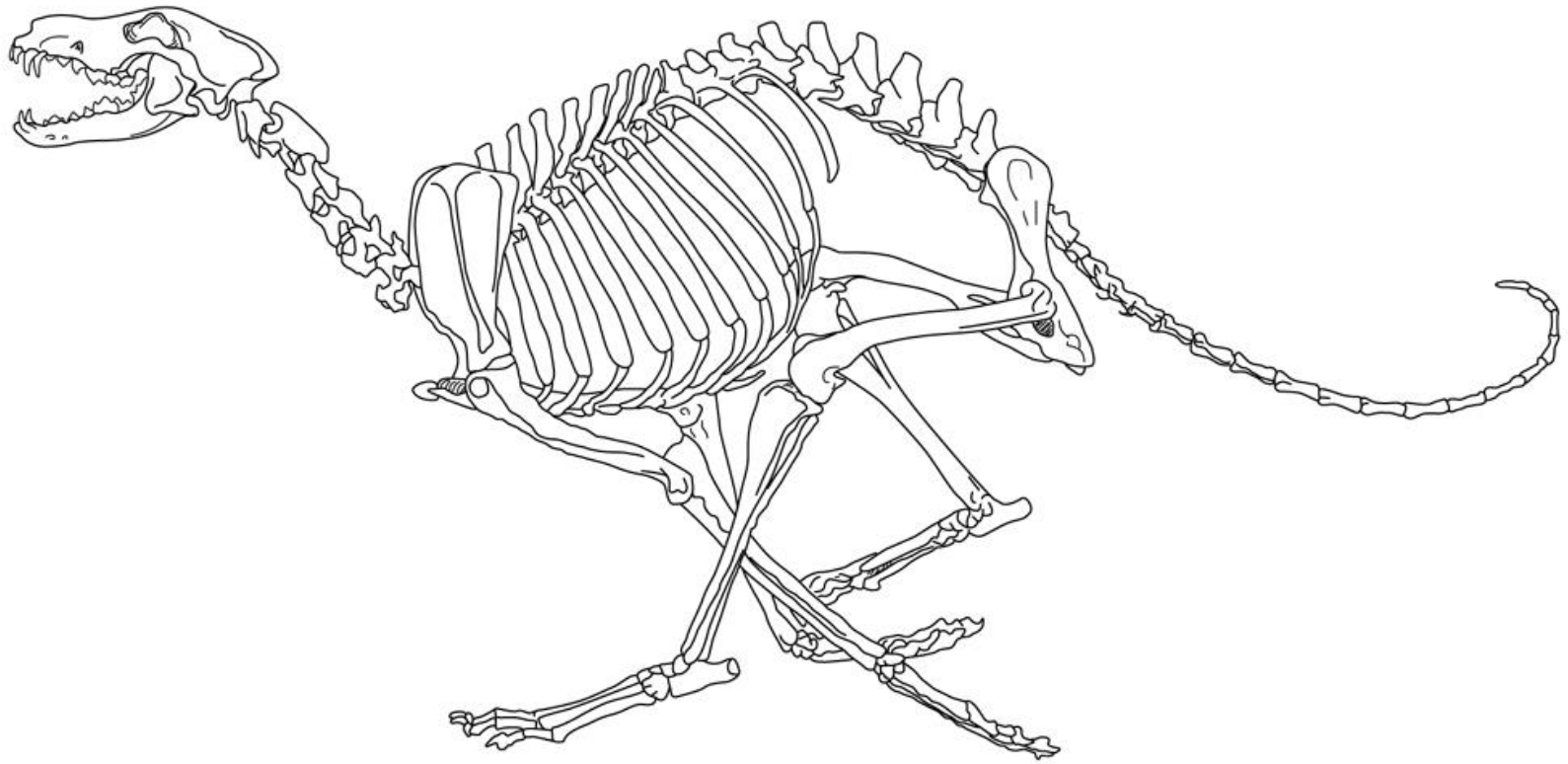


- **Fortbewegung**

Regionalisierung Wirbelsäule



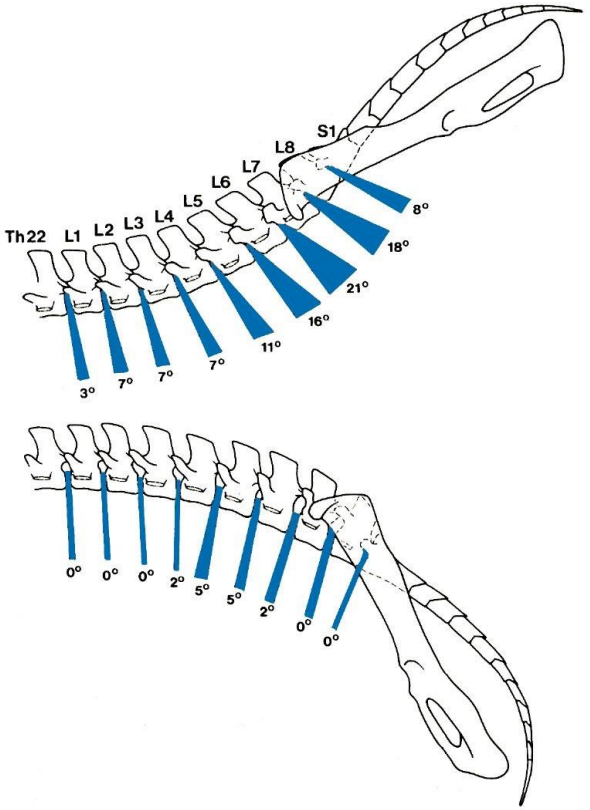
- **Fortbewegung**



B. Skeleton of a dog (Canis) in flight stage of a full gallop

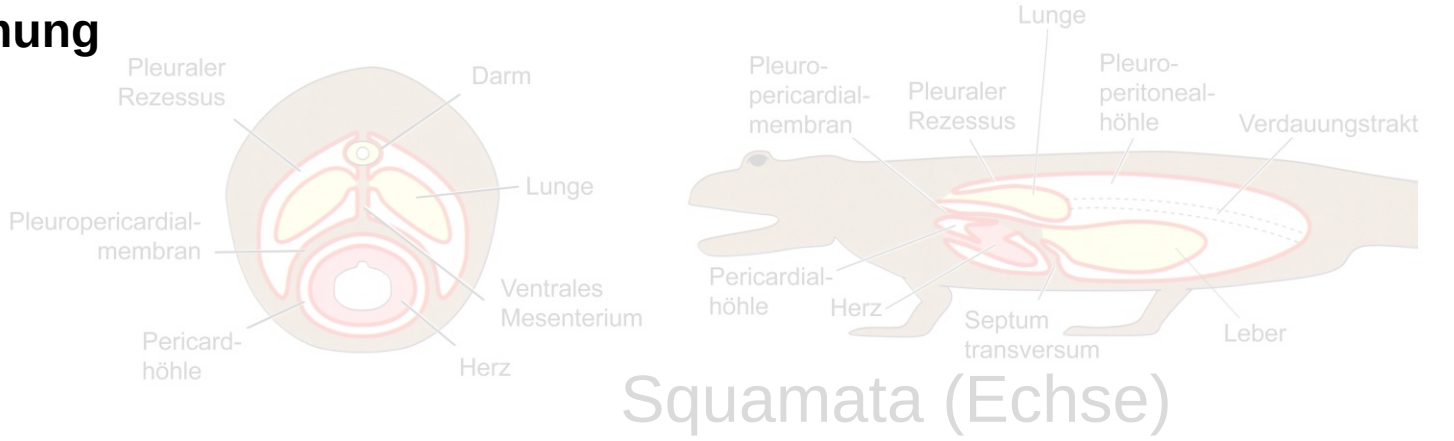
Mammalia

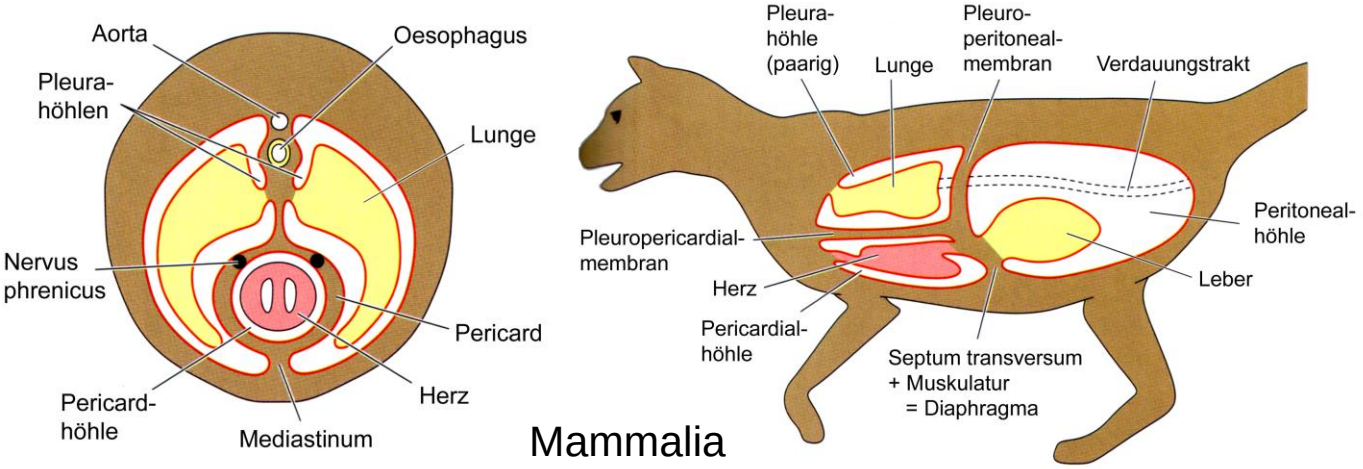
- **Additive Wirbelbewegung im Galopp**



Mammalia

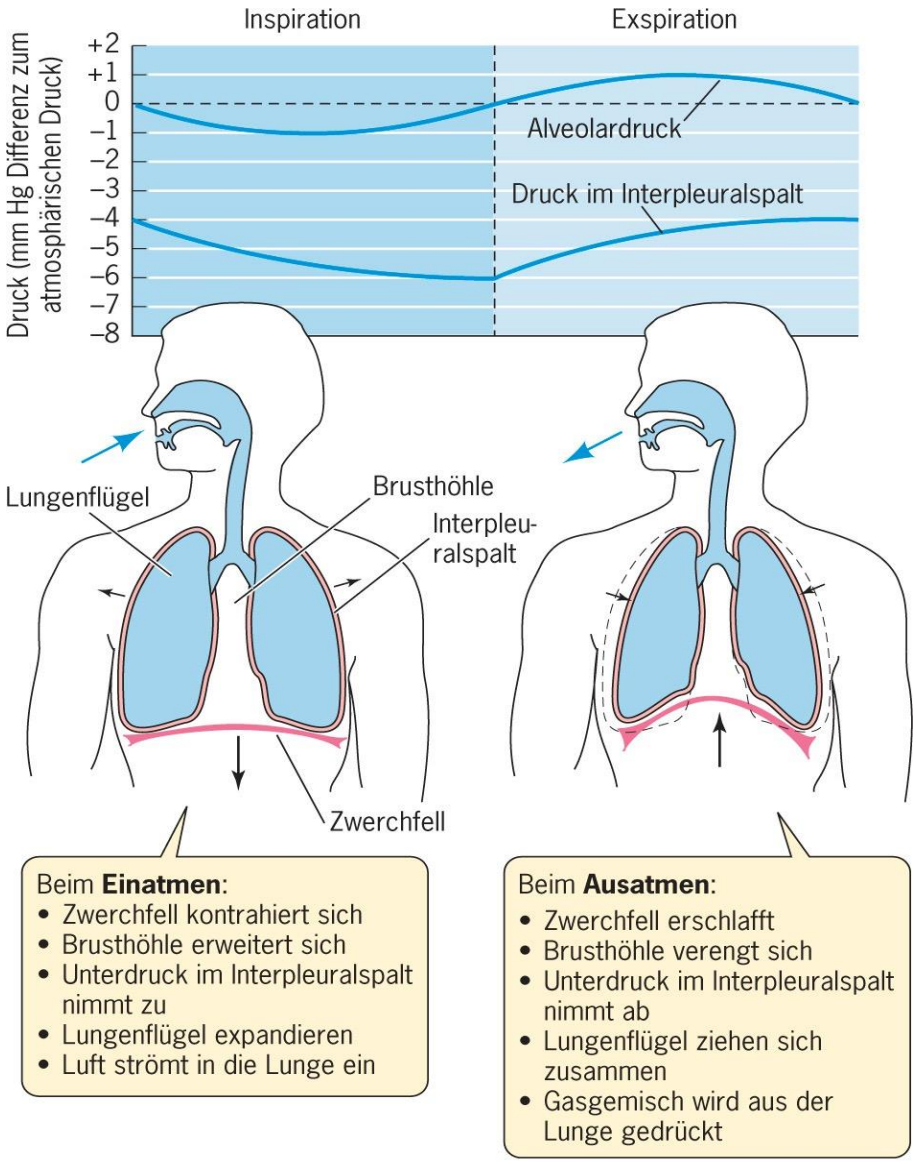
- **Atmung**





Mammalia

- **Saug-Atmung**



Aus Purves/Sadava/Orians/Heller, *Biologie*, 7. Aufl., © 2006 Elsevier GmbH

Mammalia

- **Fakten zur Atmung**

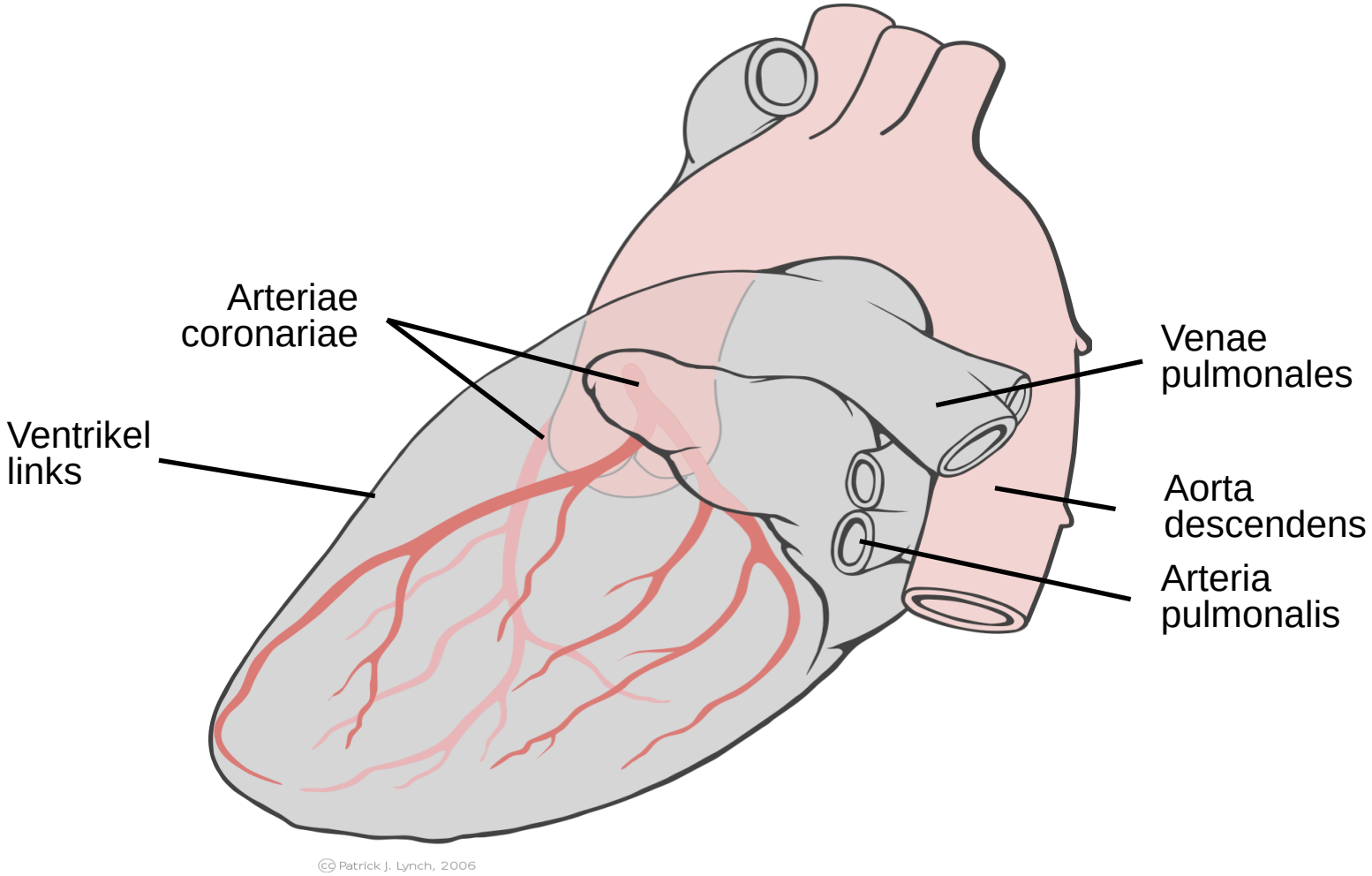
  - Saugatmung
  - Krafterzeugung der Saugpumpe: Intercostalmuskulatur und Diaphragma
  - Lunge mit paarigen Flügeln je in einer abgeschlossener Pleurahöhle mit Flüssigkeitsfilm, getrennt durch Septum (Mediastinum)

    Bei Lufteintritt in die Pleuralhöhle kollabiert die Lunge (Pneumothorax)

  - *Surfactant* reduziert die Oberflächenspannung in den Alveolen; Phospholipid
  - Bronchialbaum: Trachea, Bronchus, Bronchiolus, terminaler Bronchiolus, respiratorischer Bronchiolus, Saccus alveolaris, Alveolus
  - Als Zweiwege-Lunge (Weg hinein=Weg hinaus) mit Totvolumen und begrenzter Effizienz (anders Vogellunge).

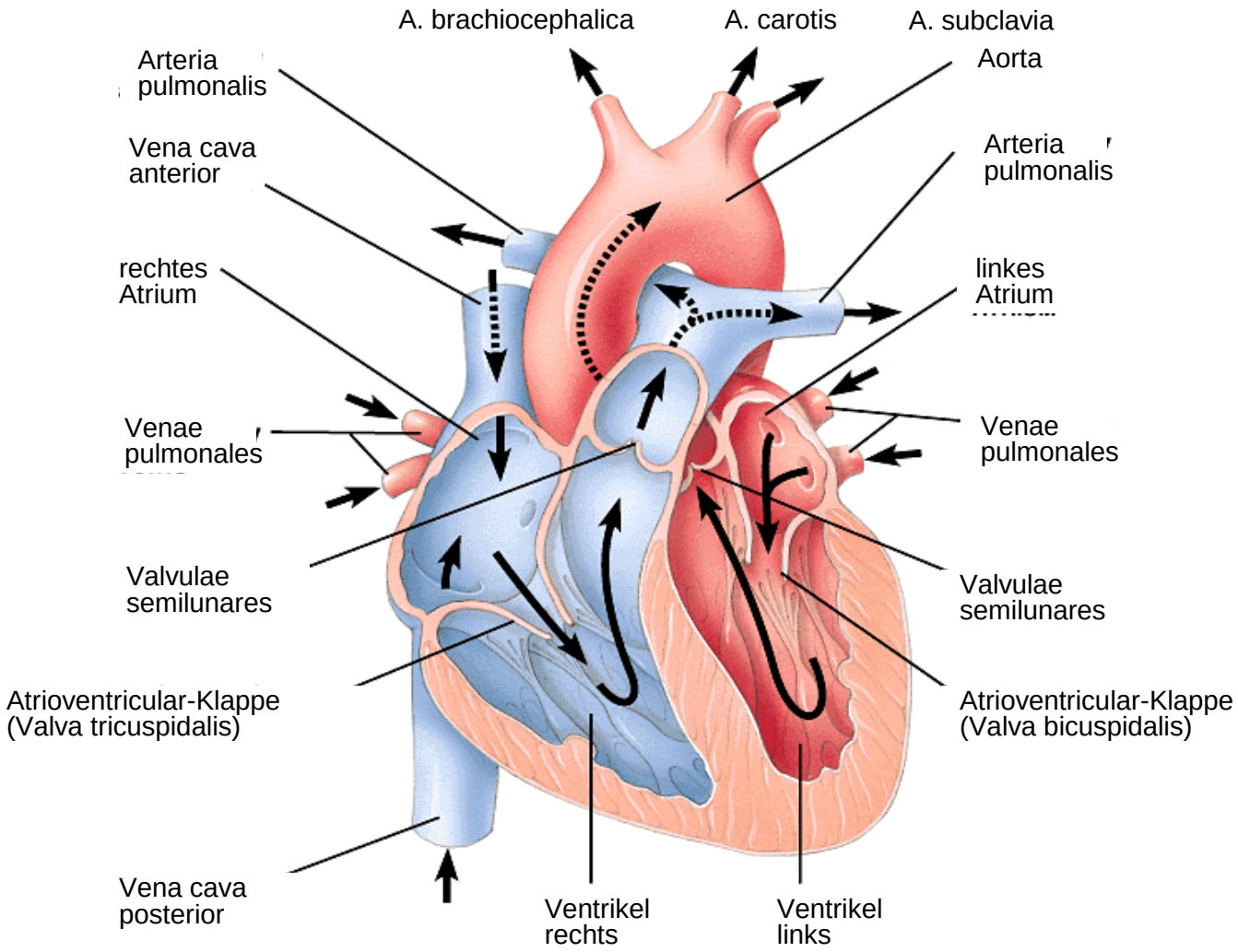
Mammalia

- **Herz**



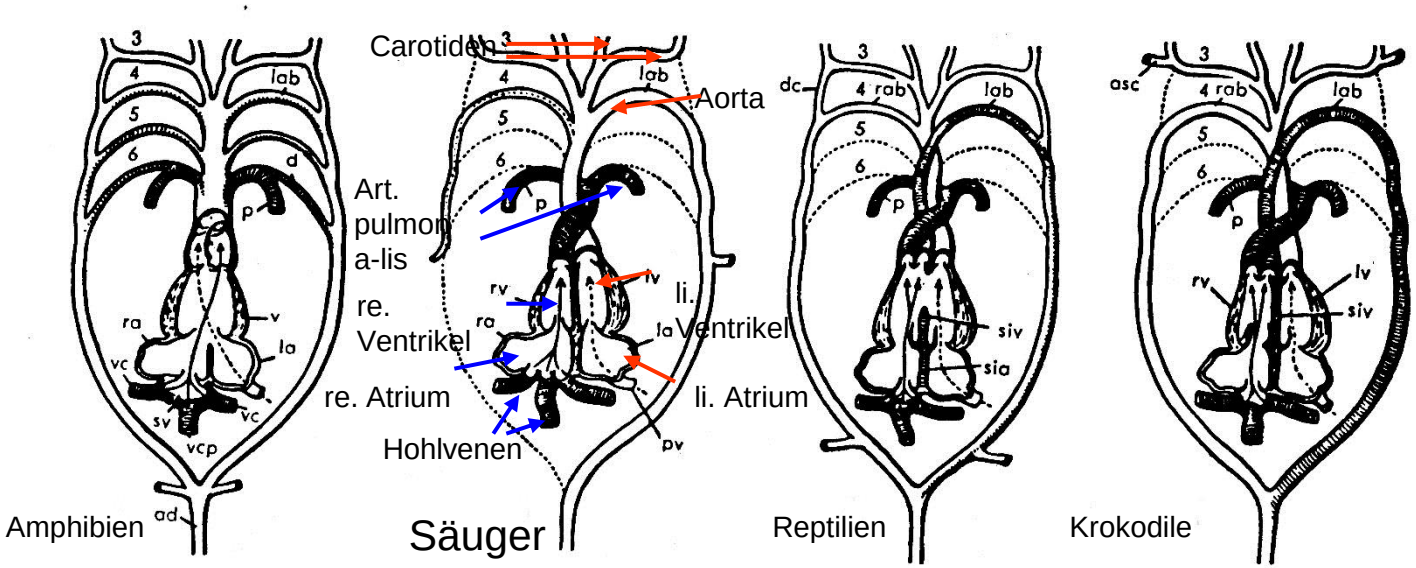
Mammalia

- **Herz – 4kammerig**



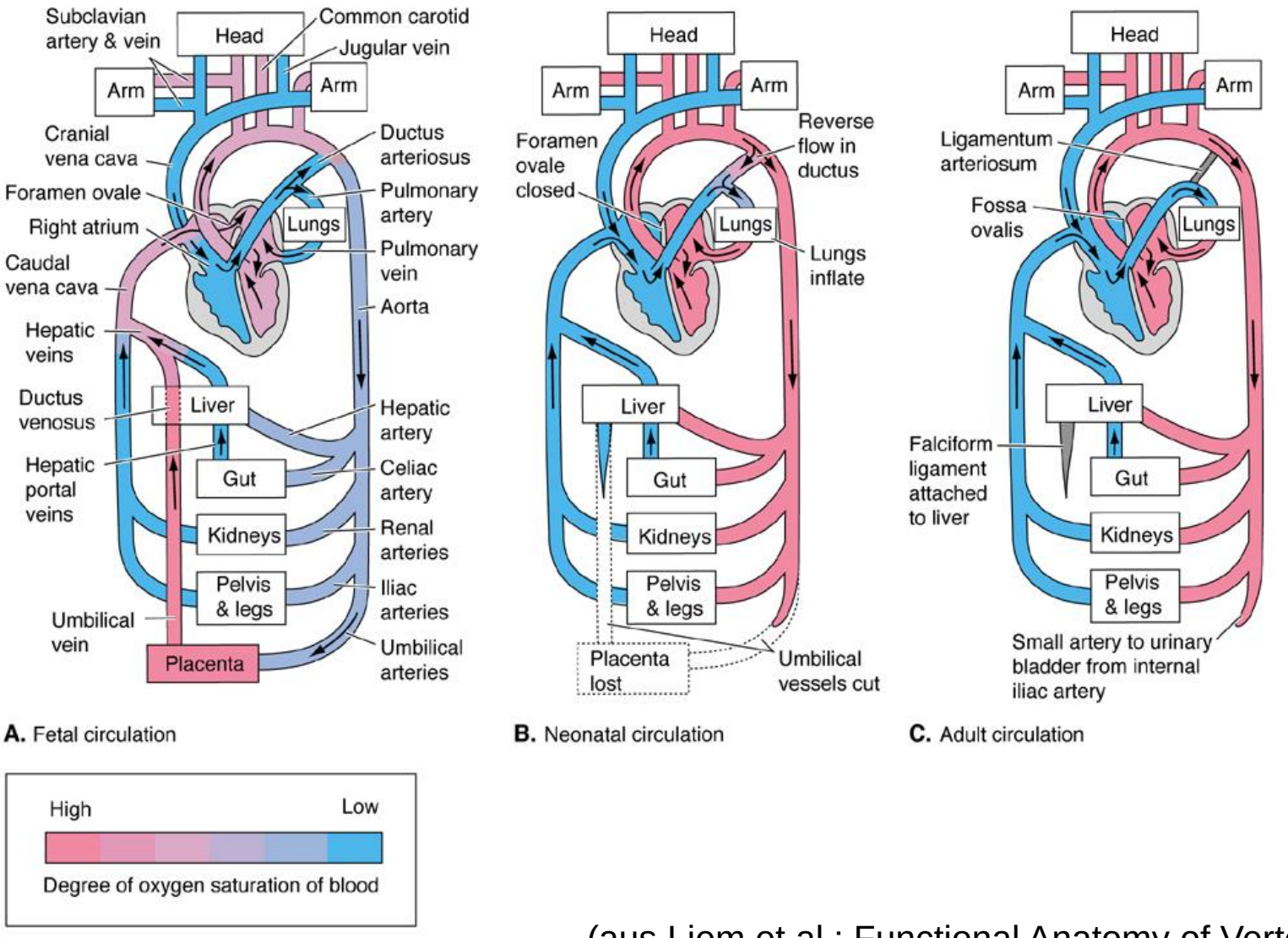
- **Herz und herznahe Gefäße der Wirbeltiere im Vergleich**

  - die Ventrikel sind vollkommen geteilt,
  - der Truncus arteriosus entspringt ungeteilt aus dem linken Ventrikel (Aorta) bzw. dem rechten Ventrikel (Art. pulmonalis);
  - nur der linke Aortenbogen bleibt erhalten, der rechte gewinnt keinen Anschluss an die Aorta descendens.



Mammalia

- **Blutkreislauf (schematisch) in der Ontogenese**



(aus Liem et al.: Functional Anatomy of Vertebrates)

Mammalia

- **Fakten zum Kreislauf**

  - vollständige Trennung von Lungen- und Körperkreislauf, jedoch funktionstüchtiger Bypass beider Kreisläufe beim Fötus in Form des *Ductus arteriosus*.

  - vierkammeriges Herz; Wandstärke im linken Ventrikel dicker als im rechten

  - Herz wird selbst durch *Arteriae coronariae* mit Blut versorgt

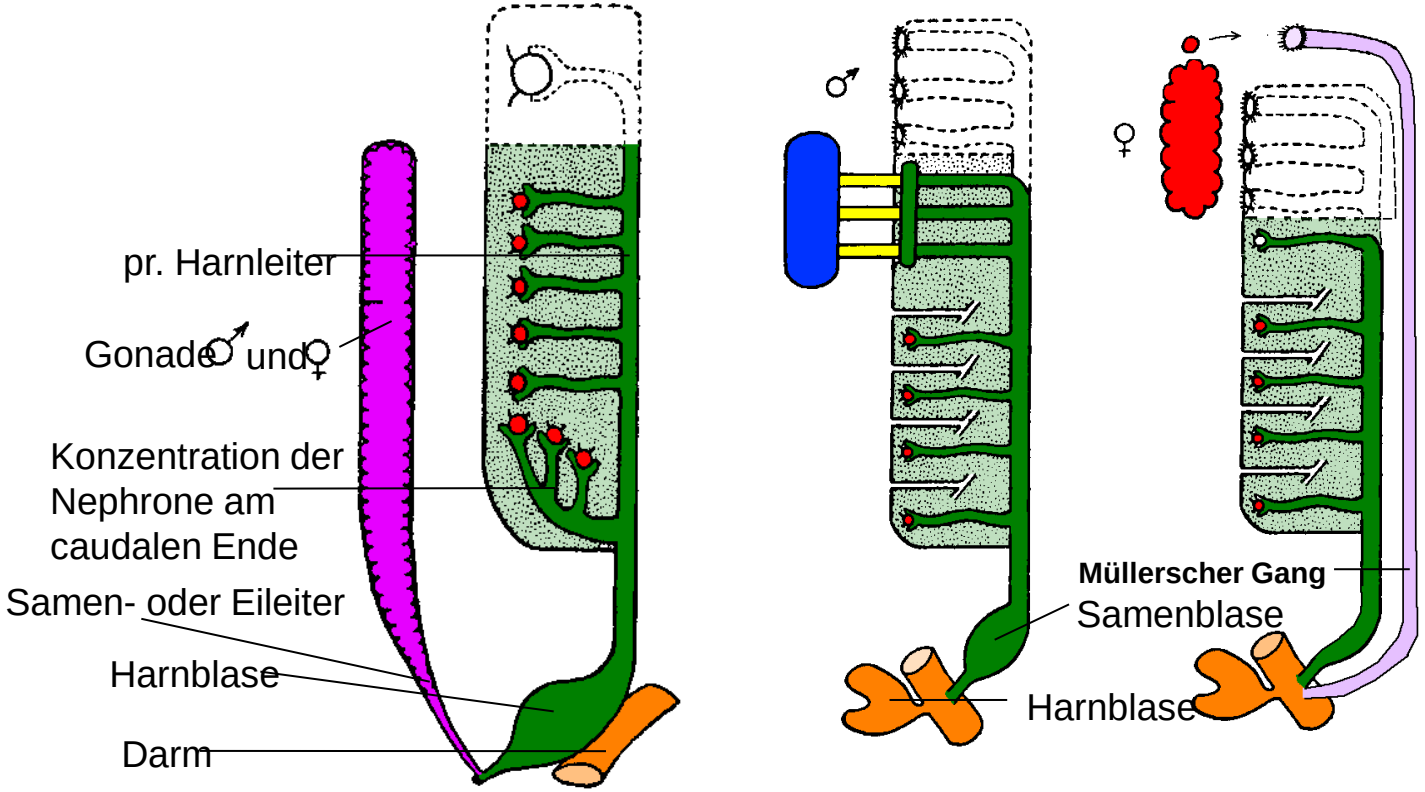
  - 4. linker Aortenbogen wird zur *Aorta descendens* (Körperschlagader)

  - kein Nierenpfortader-System

Craniota im Vergleich

- **Urogenitalsystem**

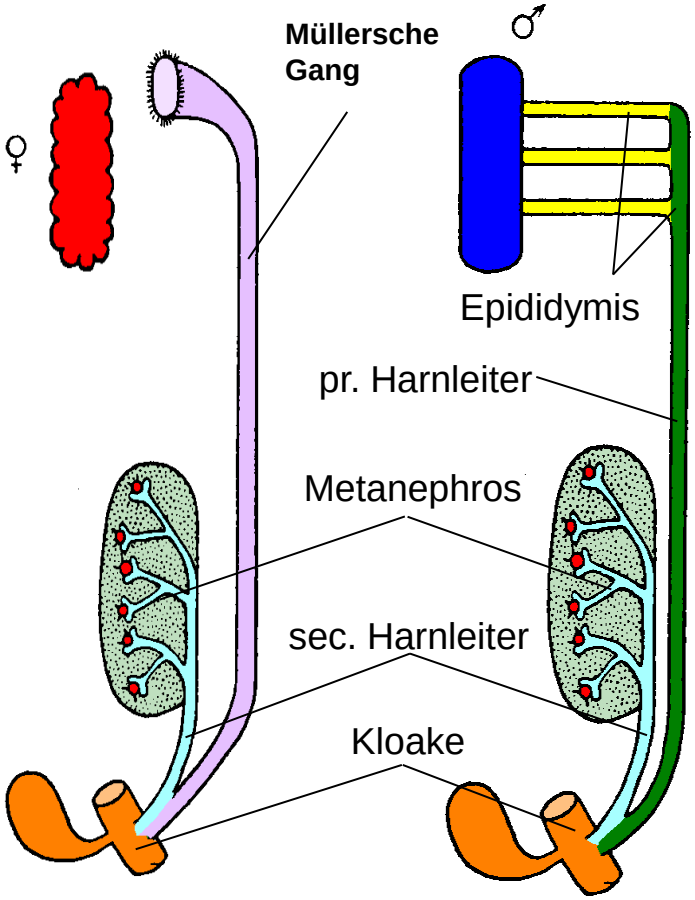
Die Verbindung zwischen Gonade und Niere
im Wandel der Vertebratenentwicklung II



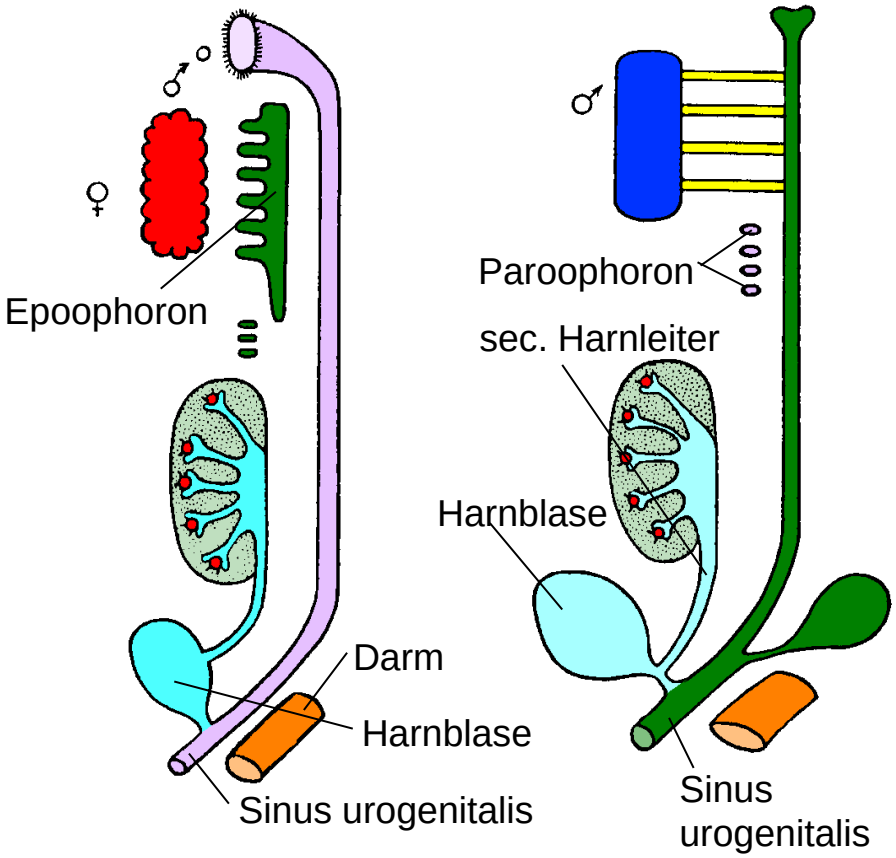
C Gonaden- Nieren-Beziehung
bei Teleosteern

D Gonaden- Nieren-Beziehung
bei Amphibien

Die Verbindung zwischen Gonade und Niere im Wandel der Vertebratenentwicklung III



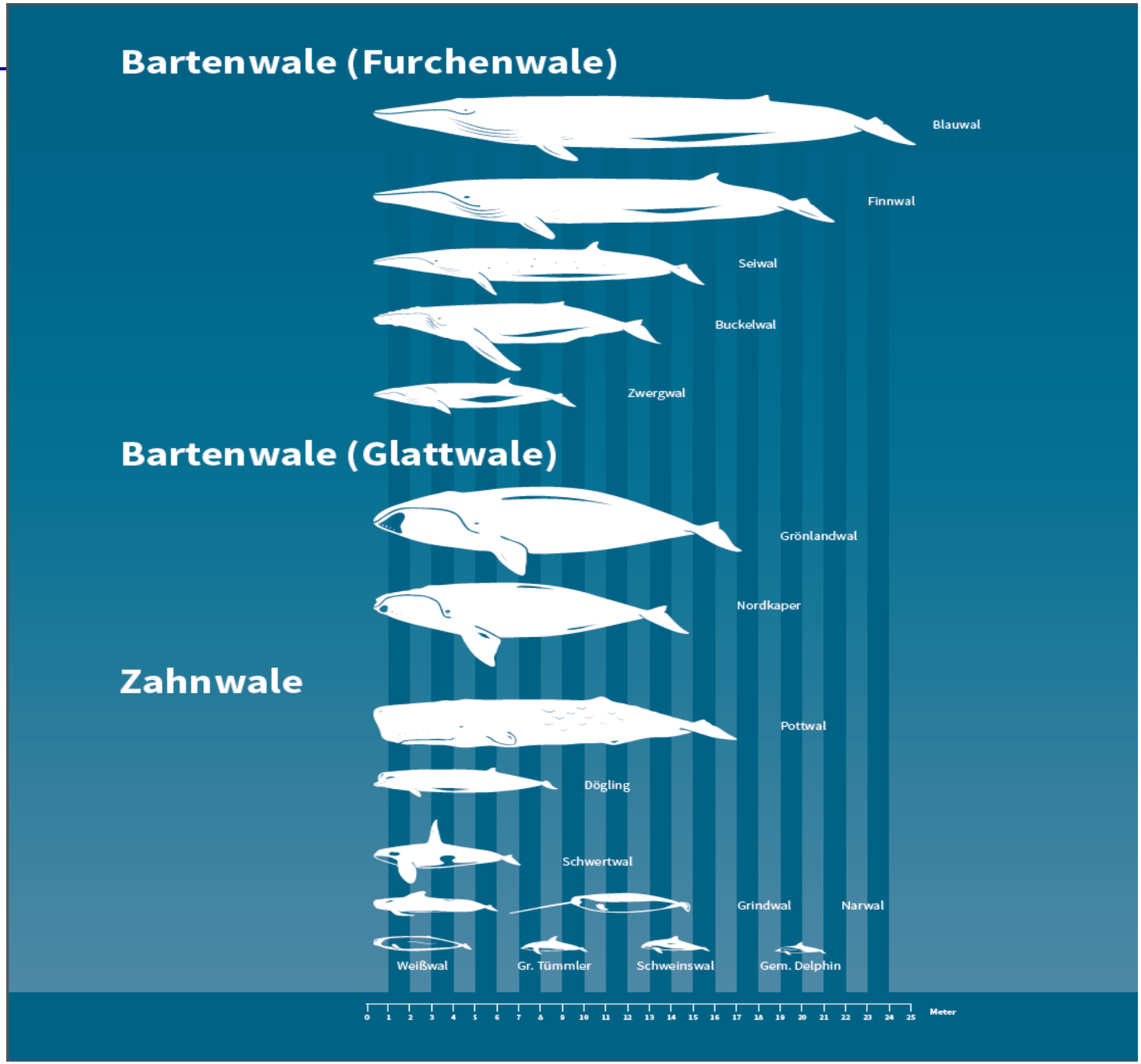
E Gonaden- Nieren-Beziehung bei Reptilia und Vögeln



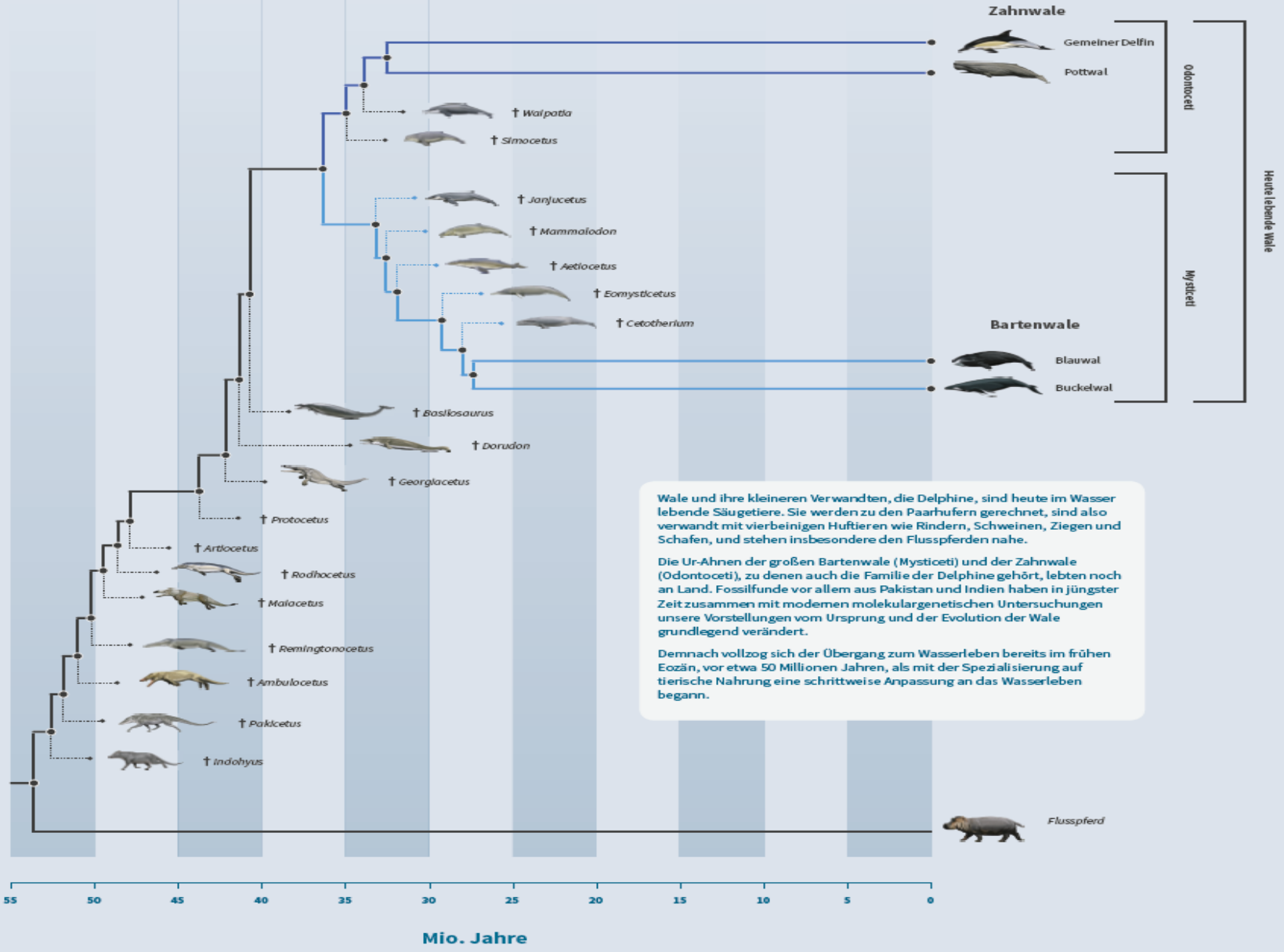
F **Gonaden- Nieren-Beziehung bei Mammalia**

Mammalia

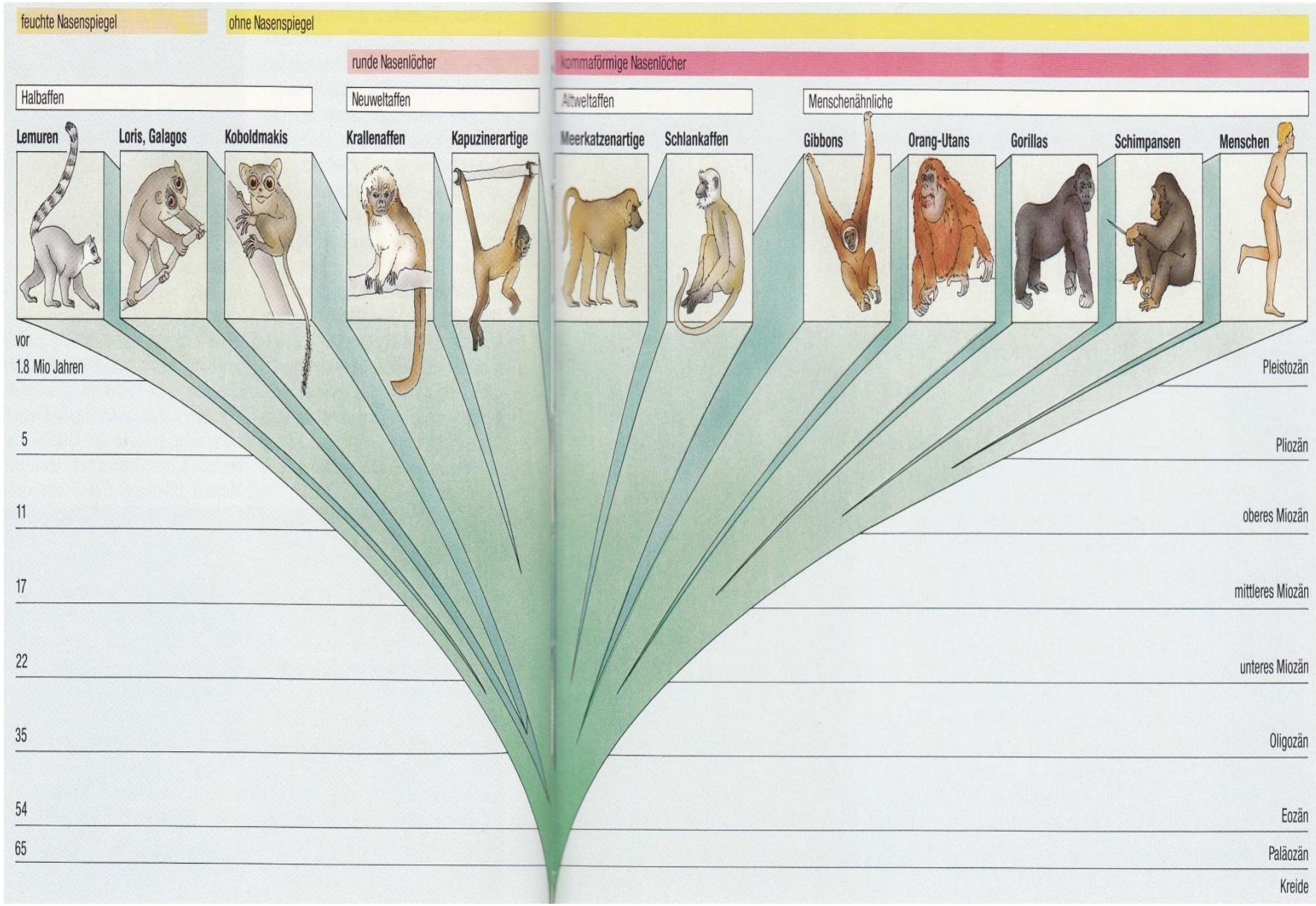
- **Cetacea**



- **Vom Land ins Meer – Die Evolution der Wale**

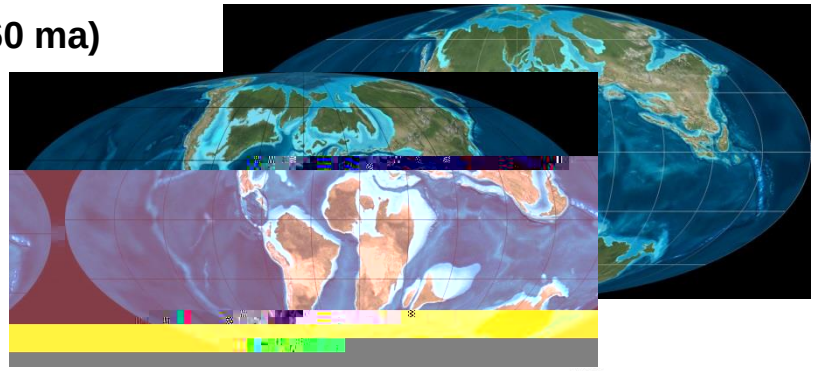

Zahnwale
Gemeiner Delfin
Pottwal
Odontoceti
Heute lebende Wale
† Waipatia
† Simocetus
† Janjucetus
† Mammalodon
† Aetiocetus
† Eomysticetus
† Cetotherium
Mysticeti
Bartenwale
Blauwal
Buckelwal
† Basilosaurus
† Dorudon
† Georgiacetus
† Protocetus
† Artiocetus
† Rodhocetus
† Maiacetus
† Remingtonocetus
† Ambulocetus
† Pakicetus
† Indohyus
Flusspferd
Wale und ihre kleineren Verwandten, die Delphine, sind heute im Wasser lebende Säugetiere. Sie werden zu den Paarhufern gerechnet, sind also verwandt mit vierbeinigen Huftieren wie Rindern, Schweinen, Ziegen und Schafen, und stehen insbesondere den Flusspferden nahe.
Die Ur-Ahnen der großen Bartenwale (Mysticeti) und der Zahnwale (Odontoceti), zu denen auch die Familie der Delphine gehört, lebten noch an Land. Fossilfunde vor allem aus Pakistan und Indien haben in jüngster Zeit zusammen mit modernen molekulargenetischen Untersuchungen unsere Vorstellungen vom Ursprung und der Evolution der Wale grundlegend verändert.
Demnach vollzog sich der Übergang zum Wasserleben bereits im frühen Eozän, vor etwa 50 Millionen Jahren, als mit der Spezialisierung auf tierische Nahrung eine schrittweise Anpassung an das Wasserleben begann.
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Mio. Jahre

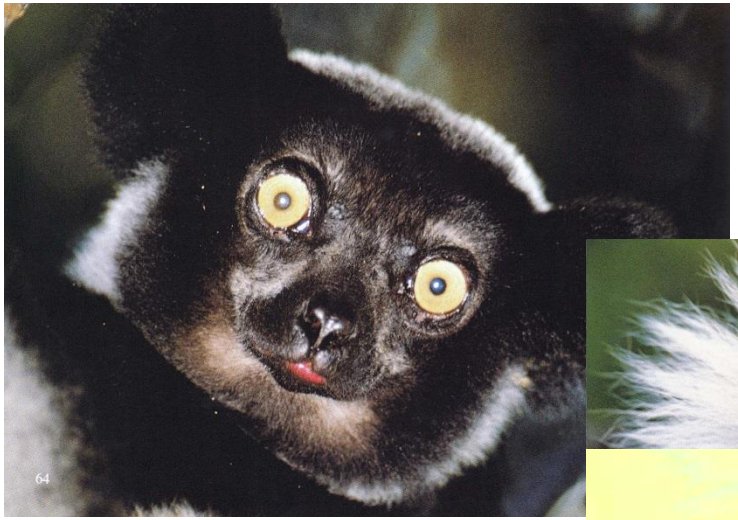
Evolution der Primaten

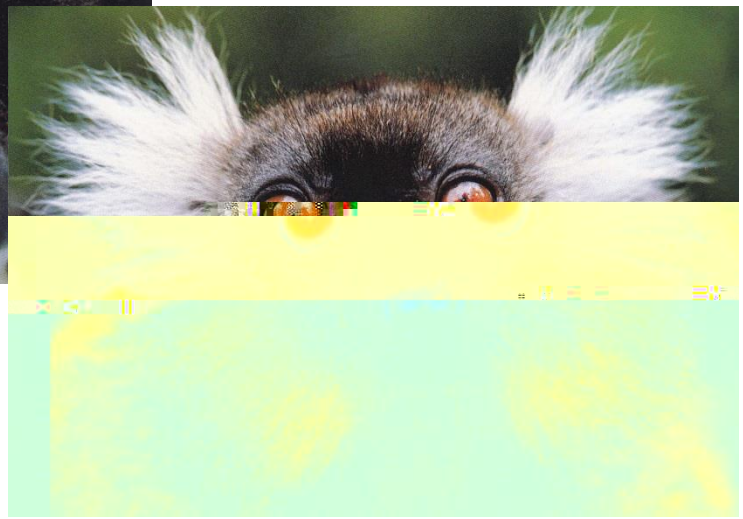


Fallstudie Madagaskars Lemuren – Vikarianz oder Dispersal ?

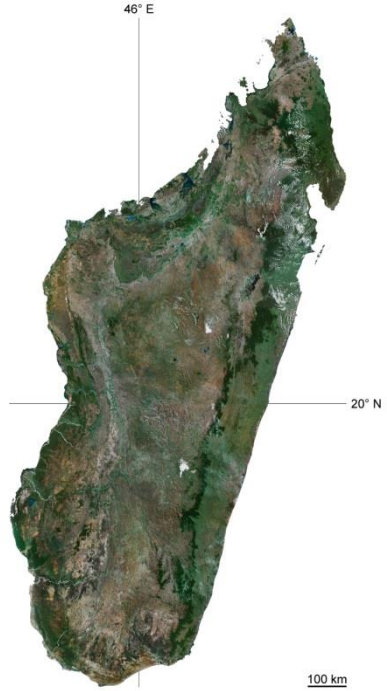
- **einzigartige Tierwelt mit Phylogenien Afrika / Asien und Südamerika**
- **frühe geologische Trennung von Afrika (seit 160 ma)**
  von anderen in E-Gondwana / India (seit 90 ma)
- **Refugium erdgeschichtlich alter Elemente …**







- **Lemuren: 15 Gen. / 54 sp.**

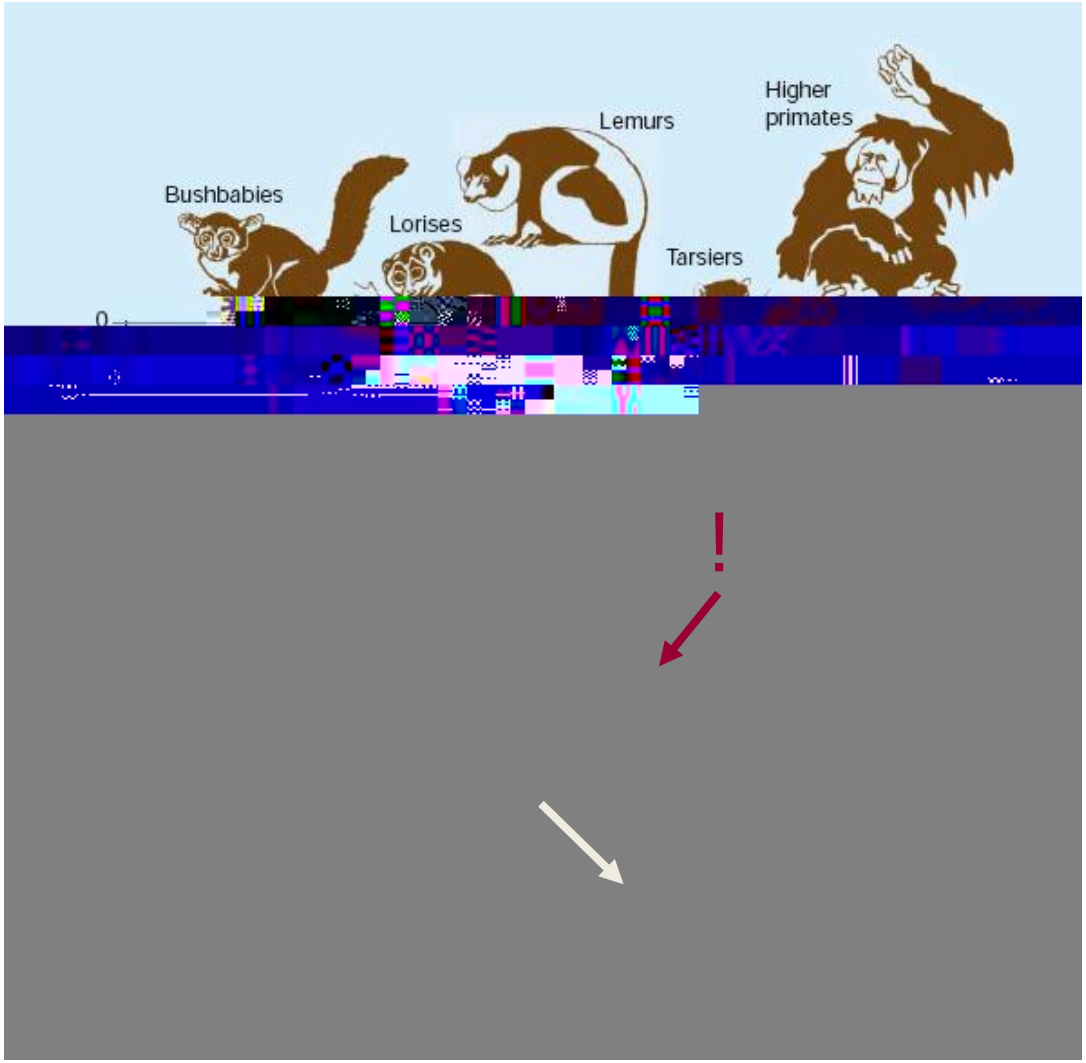


„hottest biodiversity hot spots

Alter Lemur!

- **Datierungen über Fossilien**

  Minimalalter (50 ma) vs. „*shadow tree*“ (80 ma)



- **Ursprung in Indo-Madagaskar ?**

Elwyn Simons et al.
Eozän / Oligozän Fayum, Ägypten

R. Martin (2003) Nature

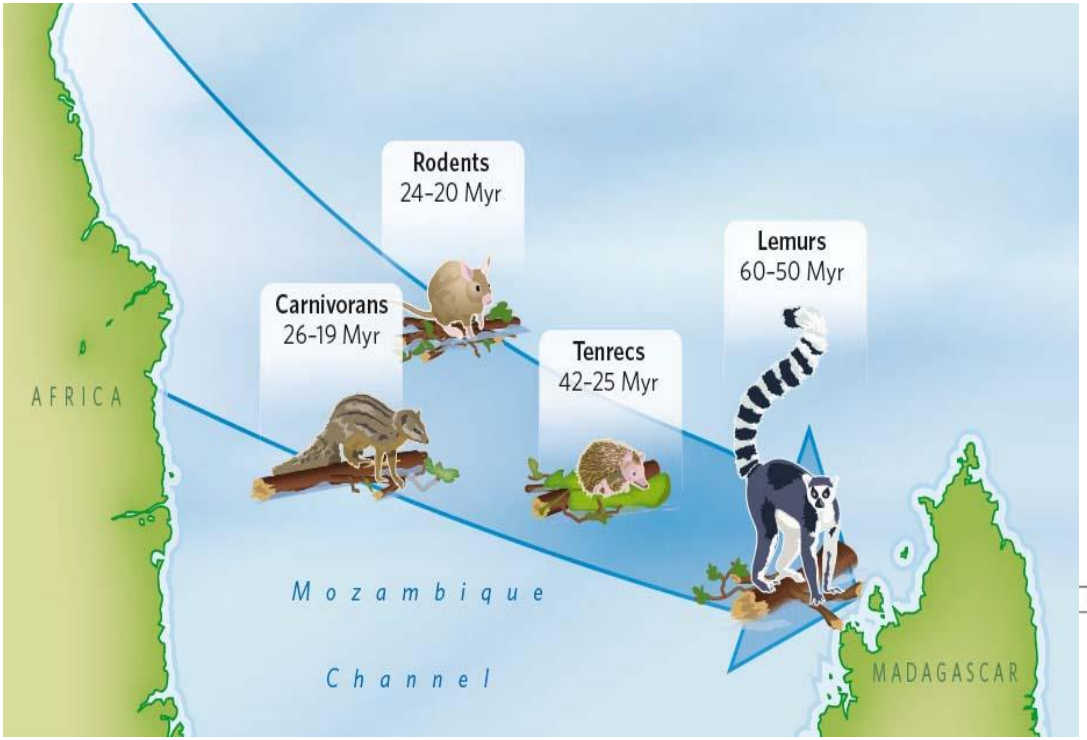
Nicht-synchrone Kolonisierung – transozeanisches „rafting“

- **alte Insel: Vikarianz – Landbrücke – Dispersal ?**

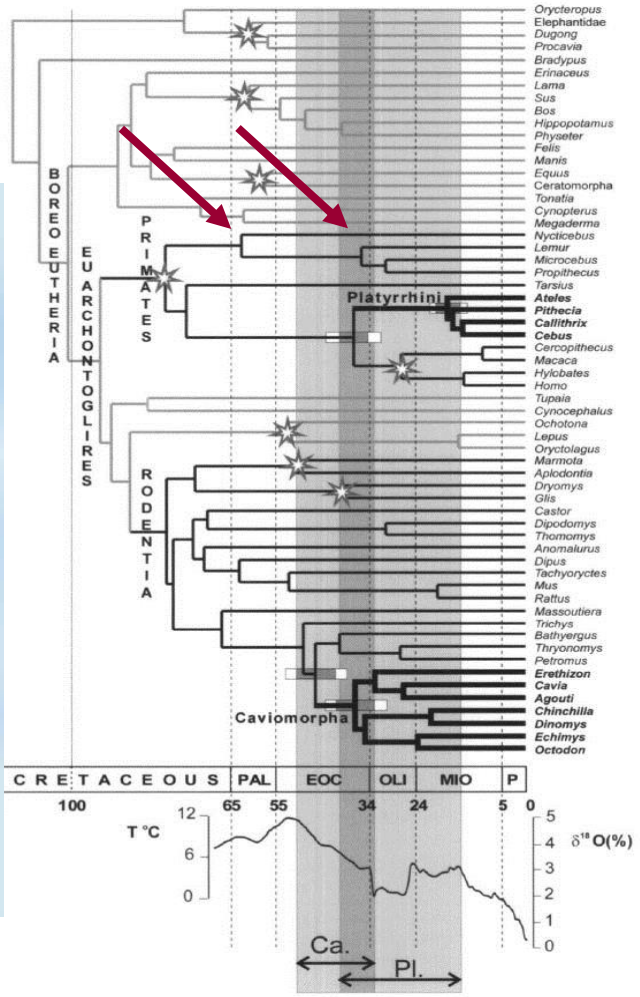
- **Ankunft Lemuren: 65 - 60 ma**
  Radiation: 43 - 29 my

Molekulare Phylogenien:

- **jüngerer phylogen. Ursprung**
- **65 % haben nächste Verwandte in Afrika**

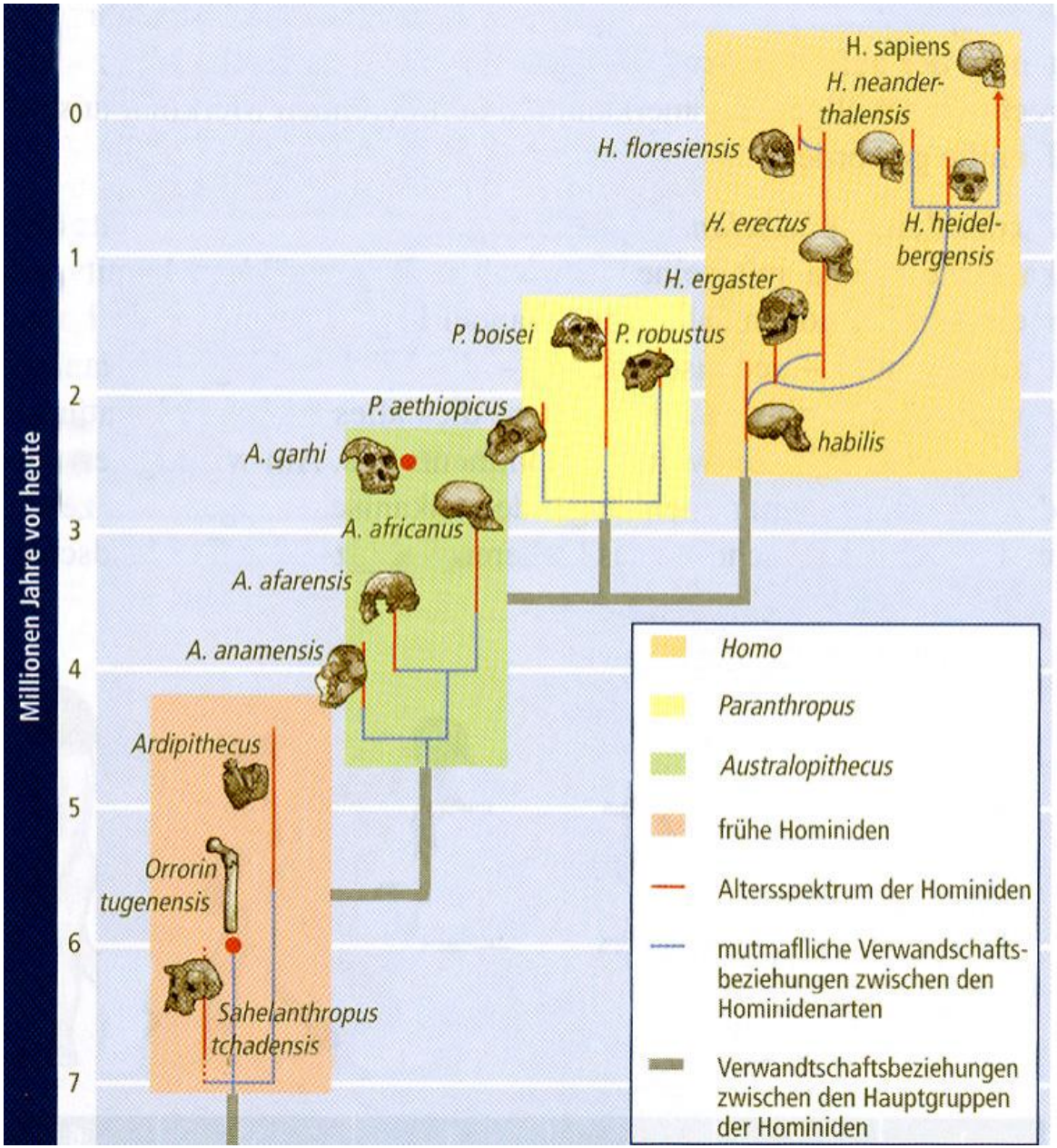


Krause (2010) Nature

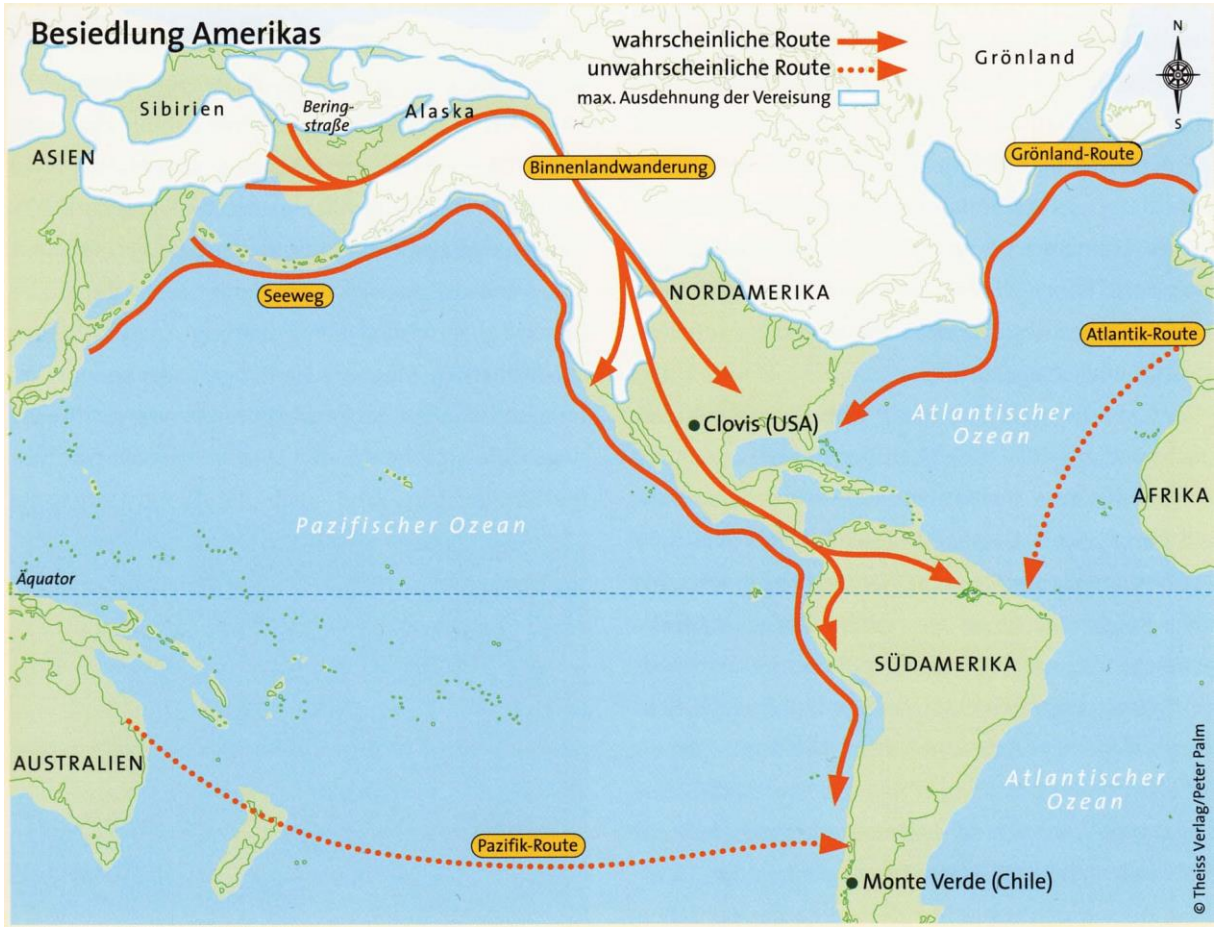


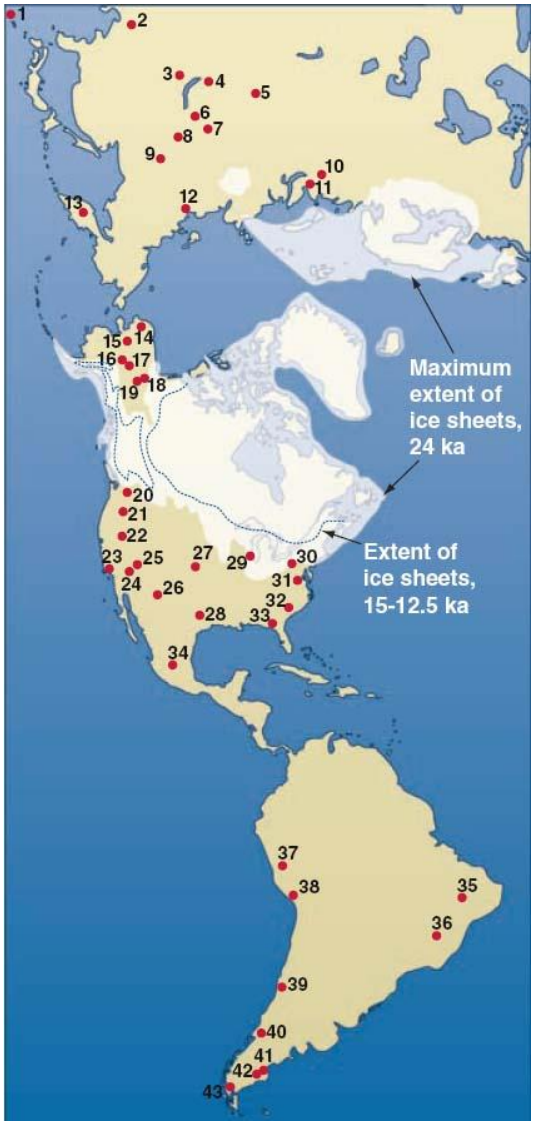
u.a. Yoder & Yang (2004), Poux et al. (2005)

Chronogramm der Hominiden - Wer sind & wo kommen wir her ?



Evolution des Homo sapiens - Wer sind & wo kommen wir her ?





Systematische Zoologie

- **Die Vorlesung – *Was werden Sie hören ?***

Biodiversität der Tiere 9:45-11:15 Großer Hörsaal
61-011 Systematische Zoologie

Termin	KW	Datum	Thema	
1	14	2. Apr.	Einführung Zool. Systematik, Protista	
2	15	9. Apr.	Einführung, Metazoa	
3	16	16. Apr.	Metazoa, Bilateria	Protostomia
4	17	23. Apr.	Platyzoa - Mollusca	
5	18	30. Apr.	Annelida - Nematoda	
6	19	7. Mai.	Ecdysozoa: Chelicerata	
7	20	14. Mai.	Crustacea	
		Christi Himmelfahrt 21. Mai		
8	22	28. Mai.	Myriapoda - Insecta	
		Pfingstunterbrechung 4. Juni		
9	24	11. Jun.	Deuterostomia, Echinodermata	Deuterostomia
10	25	18. Jun.	Acrania, Pisces - Amphibia	
11	26	26. Jul.	Reptilia - Aves	
12	27	02. Jul 20	Mammalia	
	30	24. Jul 20	Haupttermin (Freitag)	
	40	02. Okt 20	Wiederholungstermin (Freitag)	